ФИЗІОЛОГІЯ

ОРГАНОВЪ ЧУВСТВЪ.

ПЕРЕДѢЛКА СОЧИНЕНІЯ

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DER SINNESORGANE

von A. FICK. 1862–64.

И. Сѣченова.

ЗРѢНІЕ.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.
1867.

Типографія А. Головачова
Вознесенскій проспектъ, д. № 23 и 81.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Физіологію органовъ чувствъ я издаю отдѣльно отъ прочихъ главъ частной физіологіи нервной системы по слѣдующей причинѣ. Въ прежнихъ отдѣлахъ мнѣ приходилось группировать явленія по началу, не принятому еще никѣмъ изъ составителей физіологическихъ учебниковъ, оттого сочиненіе было вовсе лишено компилятивнаго характера. Теперь же мнѣ не приходится болѣе измѣнять общепринятаго плана изложенія предмета, такъ какъ онъ вполнѣ цѣлесообразенъ, оттого трудъ мой по необходимости дѣлается часто компиляторнымъ. Въ виду этого послѣдняго обстоятельства я считалъ бы себя вправѣ передъ русской медицинской публикой закончить свою физіологію нервной системы просто переводомъ какого-нибудь вполнѣ удовлетворительнаго иностраннаго сочиненія объ органахъ чувствъ (потери отъ этого для публики не было бы, потому что компиляціи вообще не говорятъ ничего новаго); но таковаго къ сожалѣнію не имѣется. Поэтому я принужденъ былъ заняться передѣлкой единственнаго

сочиненія по нашему предмету, наиболѣе удовлетворяющаго современнымъ требованіямъ—передѣлкой „анатоміи и физіологіи органовъ чувствъ А. Фика". Въ издаваемой нынѣ физіологіи глаза, мѣста изъ Фика, которыя могли быть оставлены безъ передѣлки, просто переведены; а оказавшіяся необходимыми дополненія взяты мною преимущественно изъ „Физіологической оптики" Гельмгольтца и сочиненія Дондерса „объ аномаліяхъ преломляющаго и приспособляющаго снарядовъ глаза." Всѣ новѣйшія изслѣдованія, появившіяся со времени выхода книги Фика, разумѣется тоже приняты во вниманіе.

Изъ остальныхъ органовъ чувствъ, которые составятъ 2-й выпускъ, органъ осязанія будетъ написанъ исключительно мною.

И. Сѣченовъ.

С. Петербургъ, 12 февраля 1867.

§ 1. Въ ряду нервныхъ явленій чрезвычайно часто встрѣчаются случаи, гдѣ раздраженіе, дѣйствуя на нервную систему извнѣ, даетъ непосредственно за этимъ сознательное ощущеніе и уже затѣмъ ведетъ окончательно къ какому нибудь движенію. Таковъ напр. случай нормальнаго выведенія мочи и кала, случай рвоты отъ раздраженія слизистой оболочки въ задней части рта, эффектъ щипанія кожи у нормальнаго животнаго и пр. Во всѣхъ этихъ актахъ общаго то, что каждое данное ощущеніе, съ свойственными ему характерами, производится раздраженіемъ только опредѣленныхъ мѣстъ тѣла и что въ результатъ внѣшняго раздраженія, т. е. движеніе, замѣшивается въ болѣе или менѣе рѣзкой степени дѣйствіе воли. Между ними есть однако и существенная разница: въ нѣкоторыхъ изъ приведенныхъ примѣровъ ощущенія, въ своихъ основныхъ чертахъ, не зависятъ отъ природы произведшаго ихъ раздражителя, а другія происходятъ наоборотъ только при извѣстной формѣ раздраженія. — Такъ, ощущеніе боли. позывъ на выведеніе мочи и кала можно вызвать дѣйствіемъ на соотвѣтствующія чувствующія поверхности любаго изъ общихъ нервныхъ раздражителей — электричествомъ, механическимъ насиліемъ, химическими дѣятелями и пр.; а сладострастныя ощущенія и чувство тошноты — только легкимъ механическимъ раздраженіемъ слизистой оболочки рта и половыхъ органовъ.

Общая характеристика органовъ чувствъ.

Къ этимъ двумъ категоріямъ нервныхъ актовъ, и особенно къ послѣдней изъ нихъ, чрезвычайно близко подходитъ группа явленій, вытекающая изъ дѣятельности такъ называемыхъ органовъ чувствъ, т. е. изъ дѣятельности обонятельнаго, зрительнаго, вкусоваго, слуховаго и осязательнаго аппаратовъ.

Родство этихъ новыхъ явленій съ приведенными выше доказывается тождествомъ составляющихъ ихъ моментовъ: въ обоихъ случаяхъ нервные акты начинаются вліяніемъ внѣшняго раздраженія на опредѣленныя мѣста чувствующихъ поверхностей тѣла; и тамъ и здѣсь возбужденіе родитъ сознательное ощущеніе съ опредѣленнымъ характеромъ; въ обоихъ случаяхъ ощущенія вызываютъ къ дѣятельности волю и выражаются извнѣ движеніемъ въ сферѣ подчиненныхъ послѣдней органовъ *). Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно будетъ вспомнить, что у животнаго всѣ такъ называемыя сознательно-произвольныя движенія вызываются въ огромномъ большинствѣ случаевъ вліяніями внѣшняго міра на органы чувствъ.

Не смотря на это общее сходство обоихъ родовъ явленій, между ними есть однако и большая разница. — Органы чувствъ возбуждаются нормально не тѣми дѣятелями, которые носятъ названіе общихъ нервныхъ раздражителей, а совершенно особенными вліяніями, вовсе неспособными возбуждать къ дѣятельности нервные стволы — зрительный аппаратъ свѣтомъ, слуховой звукомъ, осязательный легкимъ механическимъ потрясеніемъ и пр. Кромѣ того въ сферѣ органовъ

*) На родство описываемыхъ группъ явленій современная физіологическая школа до сихъ поръ не обращаетъ вниманія и считаетъ окончательнымъ эффектомъ возбужденія органовъ чувствъ специфическое ощущеніе. Воззрѣніе это очевидно ложно, потому что въ жизни человѣка и животнаго вообще не можетъ быть ни одной минуты, когда достаточно сильное возбужденіе любаго изъ органовъ чувствъ не вызвали бы реакціи въ сферѣ подчиненныхъ волѣ мышцъ.

чувствъ всякое малѣйшее измѣненіе качествъ внѣшняго возбужденія тотчасъ же отражается и на свойствахъ ощущенія, чего въ приведенныхъ выше явленіяхъ почти не замѣчается *). Далѣе, окончательные эффекты возбужденія органовъ чувствъ, насколько въ нихъ замѣшивается дѣятельность воли, несравненно разнообразнѣе соотвѣтствующихъ явленій, производимыхъ родственными аппаратами. Наконецъ—и это главнѣйшая характеристика органовъ чувствъ—дѣятельность ихъ стоитъ въ самой тѣсной связи съ психической жизнью животнаго: ощущенія, производимыя органами чувствъ, суть, какъ извѣстно, исходныя точки всего психическаго развитія.

Приведенныя сходства и различія двухъ рядовъ явленій должны конечно отражаться на устройствѣ и свойствахъ соотвѣтствующихъ аппаратовъ. Мы и приступимъ теперь къ сравнительному опредѣленію послѣднихъ. Къ сожалѣнію, намъ приходится заранѣе предупредить читателя, что свѣденія наши въ этомъ отношеніи чрезвычайно ничтожны.

Сначала объ сходствахъ.

Всякій нервный механизмъ, а слѣдовательно и органы чувствъ, дающій подъ вліяніемъ внѣшняго возбужденія сознательныя ощущенія и уже затѣмъ рядъ болѣе или менѣе произвольныхъ движеній, состоитъ изъ сочетанія слѣдующихъ частей: развѣтвленія нерва на поверхности, обращенной къ внѣшнимъ вліяніямъ, нервнаго ствола, центра — непремѣнно въ головномъ мозгу и соединительныхъ звѣньевъ между нимъ, т. е. центромъ, и двигательными центральными механизмами, на которые дѣйствуетъ воля. Всѣ физіологи

*) Доказательство этому очень просто: ощущеніе боли, позывъ на выведеніе мочи и пр. остаются въ существенныхъ чертахъ одинаковыми, производятся ли они механическимъ, химическимъ или электрическимъ раздраженіемъ соотвѣтствующихъ чувствующихъ поверхностей, а качества свѣтовыхъ, слуховыхъ и пр. ощущеній, именно цвѣтъ предметовъ, высота тоновъ и пр., вполнѣ зависятъ отъ свойствъ внѣшняго возбужденія.

принимаютъ далѣе, что дѣятельность такого типическаго аппарата, вызванная толчкомъ извнѣ, всегда представляетъ непрерывный послѣдовательный рядъ возбужденій нервныхъ волоконъ и центральныхъ образованій въ томъ самомъ порядкѣ, какъ они перечислены. Въ этомъ согласны между собою даже тѣ противуположные лагери, изъ которыхъ одинъ смотритъ на ощущеніе и дальнѣйшее его психическое развитіе, какъ на непосредственный результатъ дѣятельности центральныхъ частей головнаго мозга, а другой видитъ въ психическихъ актахъ совершенно особенные процессы, идущіе лишь параллельно тѣмъ матеріальнымъ измѣненіямъ мозговаго вещества, которыя носятъ общее названіе процесса нервнаго возбужденія. Да и можно ли въ самомъ дѣлѣ думать иначе?—актъ начинается возбужденіемъ (матеріальнымъ процессомъ) въ сферѣ чувствующаго волокна, а кончается такимъ же возбужденіемъ въ сферѣ произвольно-двигательнаго—явно, что матеріальное движеніе должно существовать и въ промежуткѣ между концами обоего рода приводовъ въ головномъ мозгу. Всѣ физіологи согласны наконецъ въ томъ, что чувствующая поверхность и нервный стволъ вездѣ расчитаны на воспріятіе внѣшнаго толчка и проведеніе его въ формѣ нервнаго возбужденія къ центру, изъ дѣятельности кокотораго вытекаетъ уже, прямо или косвенно, ощущеніе съ его основными характерами. Съ этой точки зрѣнія нервныя волокна, входящія въ составъ органовъ чувствъ, становятся конечно въ разрядъ простыхъ проводниковъ, какъ больвой или мышечный нервъ (мы вскорѣ увидимъ однако, что это ученіе современной физіологической школы не строго доказано).

Сходства между разбираемыми аппаратами этимъ и ограничиваются.

Посмотримъ теперь на различія ихъ.

Выше было сказано, что органы чувствъ, въ отличіе

отъ родственныхъ аппаратовъ, возбуждаются совершенно особенными вліяніями, неспособными возбуждать нервныхъ волоконъ, а между тѣмъ вслѣдъ за этимъ было упомянуто, что въ составъ каждаго органа чувствъ входятъ нервныя волокна, какъ проводники. Какъ же помирить это противорѣчіе, т. е. какъ объяснить себѣ возможность возбужденія зрительнаго нерва свѣтомъ, слуховаго—звукомъ и пр.?—Другаго выхода нѣтъ, какъ принять, что между точкой приложенія внѣшняго возбужденія и концомъ нерва въ воспринимающей поверхности существуютъ посредствующіе механизмы, способные превращать специфическаго раздражителя въ такого, который возбуждалъ бы всякое нервное волокно.—Или признать за нервными волокнами, входящими въ составъ органовъ чувствъ, специфическія качества по отношенію къ возбуждающимъ ихъ нормально дѣятелямъ — качества, которыми они отличались бы отъ прочихъ нервныхъ волоконъ тѣла. Первый изъ этихъ принциповъ выраженъ, какъ кажется, въ устройствѣ периферическаго конца зрительнаго аппарата — здѣсь по всей вѣроятности существуютъ условія для перехода свѣтоваго движенія въ тепловое или химическое; а второй — по всей вѣроятности въ органѣ слуха: здѣсь для объясненія возможности возбужденія нерва звуковыми движеніями достаточно снабдить концы его усиленною противъ другихъ нервныхъ волоконъ чувствительностью къ легкимъ механическимъ потрясеніямъ, такъ какъ звуковое движеніе по самой сущности своей есть не болѣе какъ механическое потрясеніе въ самомъ простомъ смыслѣ слова. Какимъ образомъ устроены въ этомъ отношеніи чувствующія поверхности другихъ органовъ чувствъ, неизвѣстно.

Съ другой стороны за ощущеніями въ сферѣ органовъ чувствъ была признана отличительная способность видоизмѣняться качественно съ измѣненіями свойствъ раздраженія; а это въ свою очередь можетъ быть объяснено особенностями

устройства чувствующихъ поверхностей. Можно думать именно, что послѣднія представляютъ сочетаніе разнородныхъ элементовъ, изъ которыхъ каждый способенъ воспринимать впечатлѣніе лишь извѣстнаго качества. И въ самомъ дѣлѣ по этому типу выстроена слуховая поверхность, служащая для воспринятія тоновъ различной высоты, а можетъ быть и зрительная, поскольку она воспринимаетъ цвѣтные лучи различной преломляемости. Нужно впрочемъ замѣтить, что качественная зависимость ощущенія отъ свойствъ раздражителя, будучи разсматриваема какъ продуктъ извѣстнаго устройства даннаго аппарата, можетъ быть достигнута и инымъ путемъ: возможно, что уже въ самомъ нервномъ волокнѣ процессъ возбужденія принимаетъ качественно различные оттѣнки по мѣрѣ измѣненія раздражителя. Мысль эта правда не охотно допускается современною физіологическою школою, но для отрицанія ея нѣтъ никакихъ неопровержимыхъ основаній.

Вторая категорія различій между аппаратами, дающими сознательныя ощущенія, можетъ быть дана теоретически различіями въ устройствѣ и свойствахъ проводниковъ, т. е. нервныхъ волоконъ. Можно думать именно, что въ нѣкоторыхъ аппаратахъ, какъ наприм. въ болевомъ, нервное волокно служитъ лишь своею способностью проводить возбужденіе, а въ другихъ оно устроено совершенно особеннымъ образомъ и возбуждается лишь специфическими дѣятелями. Въ первомъ случаѣ раздраженіе проводника общими нервными раздражителями должно очевидно производить тотъ же эффектъ, что и раздраженіе чувствующей поверхности (въ болевомъ аппаратѣ это такъ и бываетъ: боль появляется какъ при раздраженіи чувствующей поверхности кожи, такъ и при возбужденіи кожныхъ нервовъ); а во второмъ нервъ не долженъ реагировать на дѣйствіе общихъ нервныхъ раздражителей. Путь для рѣшенія вопроса стало быть ясенъ:

стоитъ только опредѣлить въ каждомъ данномъ чувствующемъ аппаратѣ, является ли при механическомъ, электрическомъ, химическомъ и термическомъ раздраженіи его проводника свойственное органу специфическое ощущеніе или нѣтъ. Въ первомъ случаѣ нервъ будетъ лишь проводникомъ, во второмъ—специфическимъ органомъ. Такіе опыты просты къ сожалѣнію только съ виду.—Во первыхъ они возможны только на человѣкѣ, находящемся въ полномъ сознаніи (такъ какъ эффектъ раздраженія чувствующихъ нервовъ—ощущеніе—есть явленіе субъективное); а во вторыхъ раздраженіе должно падать непремѣнно на нервный стволъ непосредственно, а не черезъ толщу окружающихъ его частей (электрическое раздраженіе головы не можетъ наприм. рѣшить дѣла, потому что токъ проходитъ по всей толщѣ мозга и дѣйствуетъ одновременно на чувствующія поверхности, проводники и центры). Случаи къ такимъ опытамъ могутъ быть конечно лишь исключительною рѣдкостью *). На этомъ основаніи до сихъ поръ опредѣлены съ положительностью лишь свойства зрительнаго нерва: волокна его суть дѣйствительно чистые проводники, потому что даютъ при механическомъ раздраженіи свѣтовое ощущеніе. Тоже самое можно принять и для слуховаго нерва, но уже не на основаніи опыта въ приведенной формѣ, а потому, что концы его возбуждаются уже нормально дѣятелемъ, подходящимъ по природѣ къ одному изъ общихъ нервныхъ раздражителей, т. е. къ механическому потрясенію. Наконецъ тоже самое можно принять и для волоконъ осязательнаго аппарата, на основаніи слѣдующаго косвеннаго опыта: въ извѣстномъ періодѣ наркоза отъ хлороформа люди не чув-

*) Дальнѣйшей помѣхой къ рѣшенію вопроса служитъ то обстоятельство, что въ нѣкоторыхъ чувствующихъ аппаратахъ, какъ напр. въ осязательномъ, къ специфическимъ приводамъ примѣшаны болевые, возбуждающіеся одновременно съ первыми и маскирующіе эффектъ ихъ возбужденія.

ствуютъ боли, когда имъ разрѣзываютъ кожу, но ощущаютъ прикосновеніе ножа. Относительно же остальныхъ двухъ органовъ, вопросъ остается нерѣшеннымъ. Впрочемъ ощущеній запаха нельзя вызвать, сколько мнѣ извѣстно, даже электрическимъ раздраженіемъ головы, когда навѣрное слѣдовало бы возбуждаться и обонятельному нерву и его центрамъ. Не есть ли это указаніе на специфичность его волоконъ?

Третья и послѣдняя категорія различій ощущающихъ аппаратовъ обусловливается конечно устройствомъ и свойствами соотвѣтствующихъ центральныхъ механизмовъ. Выше было сказано, что ощущенія съ ихъ основными характерами зависятъ отъ дѣятельности центровъ; поэтому понятно, что различія между послѣдними должны быть выражены даже несравненно рѣзче. чѣмъ въ прочихъ соотвѣтствующихъ другъ другу отдѣлахъ ощущающихъ механизмовъ; а между тѣмъ объ устройствѣ этихъ частей до сихъ поръ не имѣютъ ни малѣйшаго понятія. — Центрами чувствующихъ нервовъ въ наиболѣе изслѣдованныхъ случаяхъ являются группы нервныхъ клѣтокъ — и только. Отъ дѣятельности же такихъ формъ перейти къ пониманію способа происхожденія ощущеній очевидно не въ силахъ никакое воображеніе; а тутъ еще приходится рѣшать вопросы, отчего одна группа клѣтокъ даетъ ощущенія свѣтовыя, другая обонятельныя и пр.

Такой же мракъ покрываетъ устройстго соединительныхъ звѣньевъ между ощущающими центрами и двигательными механизмами, на которые дѣйствуетъ воля. — Немногое извѣстное въ этомъ отношеніи будетъ высказываемо при описаніи органовъ чувствъ въ частности.

Задача физіологіи органовъ чувствъ.

Такимъ образомъ читатель видитъ, что физіологія органовъ чувствъ, имѣющая цѣлью изученіе процесса происхожденія пяти формъ ощущеній со всѣми свойственными каждой видоизмѣненіями основнаго характера, должна по необходи-

мости отказаться отъ самыхъ существенныхъ сторонъ своей задачи. — Способъ происхожденія самаго ощущенія остается во всѣхъ случаяхъ неразрѣшимой загадкой и дѣло физіологіи ограничивается рѣшеніемъ вопросовъ, какую роль играетъ въ видоизмѣненіяхъ основнаго характера даннаго ощущенія устройство периферическаго конца соотвѣтствующаго нерва, равно какъ устройство другихъ побочныхъ аппаратовъ, входящихъ въ составъ даннаго органа чувствъ. Черезъ это дѣлается возможнымъ составить себѣ путемъ исключенія нѣкоторое понятіе и объ свойствахъ центральныхъ механизмовъ; именно, если вычесть изъ общей картины явленій, представляемыхъ дѣятельностью цѣлаго чувствующаго аппарата, тѣ моменты, которые объясняются устройствомъ периферическихъ снарядовъ.

Частное описаніе мы начнемъ съ зрительнаго аппарата, какъ наиболѣе изслѣдованнаго.

ОРГАНЪ ЗРѢНІЯ.

Картина явленій, представляемыхъ дѣятельностью зрительнаго аппарата.

§ 2. Сдѣлаемъ прежде всего перечень явленій, представляемыхъ дѣятельностью зрительнаго аппарата. Разъясненіе условій ихъ происхожденія, разсматриваемое въ связи съ устройствомъ и свойствами различныхъ отдѣловъ зрительнаго органа, и составитъ физіологію послѣдняго.

Мы видимъ свѣтъ, т. е. умѣемъ вообще отличать освѣщенные предметы отъ неосвѣщенныхъ.

Мы видимъ образы предметовъ,

притомъ съ одинаковою ясностью, несмотря на различное удаленіе послѣднихъ отъ глаза (ясности перцепціи образа съ измѣненіемъ разстояній предмета отъ

глаза существуютъ однако предѣлы: всякій знаетъ напр., что очертанія вещи, приближенной къ глазу на разстояніе вершка, или менѣе, дѣлаются неясными, а съ другой стороны тоже бываетъ съ предметами удаленными на очень большія разстоянія).

Во всякомъ образѣ, ощущаемомъ конкретно, мы видимъ въ тоже время части, его составляющія.

Мы видимъ цвѣта, т. е. окрашенность предметовъ.

Со всякимъ зрительнымъ ощущеніемъ непосредственно связаны представленія:

a) о величинѣ видимаго предмета,

b) объ его положеніи внѣ насъ (въ пространствѣ) и

c) объ степени удаленія предмета отъ глаза.

Предметы, разсматриваемые двумя глазами разомъ, видятся одиноко, а не вдвойнѣ.

Въ тѣлесномъ предметѣ мы видимъ сверхъ очертаній еще и тѣлесность формы, т. е. предметъ представляется намъ рельефнымъ.

Понятія о степени освѣщенія предметовъ, ихъ окрашенности и величинѣ, стоятъ въ зависимости отъ предшествующихъ и современныхъ однородныхъ впечатлѣній. — Явленія контраста.

Такова сумма главныхъ явленій, представляемыхъ зрительнымъ аппаратомъ непосредственно, и потому знакомыхъ каждому уже изъ обыденной жизни. Кромѣ перечисленныхъ существуютъ правда и другіе ряды зрительныхъ явленій, подлежащія объясненію, но для полученія ихъ глазъ нужно ставить въ болѣе или менѣе искуственныя условія, поэтому рѣчь объ нихъ можетъ быть только при частномъ описаніи предмета.

Во всякомъ же случаѣ, прежде чѣмъ заниматься рѣшеніемъ перечисленныхъ выше вопросовъ, необходимо познако-

миться съ анатомическимъ устройствомъ зрительнаго аппарата.

Анатомія зрительнаго аппарата.

§ 3. Зрительный органъ въ тѣсномъ смыслѣ слова состоитъ изъ глазнаго яблока, зрительнаго нерва и мозговыхъ центровъ. Свѣтовое возбужденіе съ его окончательнымъ эффектомъ — ощущеніемъ происходятъ въ сферѣ только этихъ частей. Зрительная функція глаза страдала бы однако большими недостатками, если бы весь аппаратъ состоялъ изъ однѣхъ перечисленныхъ частей: глазное яблоко, выдаваясь на свободную поверхность тѣла, легко подвергалось бы дѣйствію случайныхъ вредныхъ вліяній, а съ другой стороны зрительный аппаратъ оставался бы неподвижнымъ и черезъ это значительно съужалось бы пространство, обозрѣваемое обоими глазами (не говоря уже объ другихъ болѣе важныхъ невыгодахъ неподвижности глазъ). Невыгода перваго рода устраняется мигательнымъ и слезоотдѣлительнымъ механизмами, которые слѣдуетъ поэтому считать придатками зрительнаго аппарата; а подвижность глаза достигается дѣятельностью цѣлой системы мышцъ, прикрѣпляющихся къ глазному яблоку и ворочающихъ его въ глазницѣ въ самыхъ разнообразныхъ направленіяхъ. Составъ зрительнаго аппарата.

Эти два рода побочныхъ аппаратовъ очевидно должны войти въ кругъ нашего обзора *).

Глазное яблоко.

§ 4. Глазное яблоко представляетъ перепончатый пузырь, наполненный частью жидкимъ, частью полужидкимъ содержимымъ. Формой оно только приблизительно похоже на шаръ,

*) Изъ нихъ мигательный аппаратъ описанъ мною уже прежде (см. физіол. нервн. сист. стр. 474).

въ сущности же приближается къ эллипсоиду, происшедшему отъ вращенія эллипса вокругъ малой оси. Послѣдняя идетъ, при смотрѣніи глазомъ въ прямомъ направленіи, спереди назадъ. Эту линію мы будемъ впередъ называть глазной осью, а точки ея пересѣченія съ поверхностью яблока — полюсами. Глазное яблоко у передняго полюса гораздо выпуклѣе и кромѣ того покрыто здѣсь прозрачной перепонкой. „Экваторіальной плоскостью", проходящей черезъ центръ яблока перпендикулярно къ оси, глазъ дѣлится на переднее и заднее полушаріе. Наибольшій діаметръ экватора идетъ почти горизонтально (нѣсколько наклонно сверху и снутри кнаружи и внизъ) отъ носа къ вискамъ. Длина глазной оси колеблется между 23 и 26 мм. Наибольшій горизонтальный поперечникъ глазнаго яблока (въ экваторіальной плоскости) колеблется между 22,8 и 26 мм., наибольшій отвѣсный — между 21,5 и 25 мм. Опредѣляя какое нибудь мѣсто въ глазномъ яблокѣ, употребляютъ обыкновенно географическіе термины. Такъ, каждый разрѣзъ въ плоскости, проведенной черезъ „ось" глаза, называется „меридіаномъ."

Оболочки глаза состоитъ изъ трехъ слоевъ. Въ заднемъ, бо́льшемъ, отдѣлѣ они лежатъ непосредственно одинъ надъ другимъ, а спереди измѣняютъ отчасти свой характеръ и расходятся для воспринятія нѣкоторыхъ частей содержимаго глазнаго яблока. Средній слой имѣетъ спереди круглое отверстіе—зрачекъ. Зрительный нервъ прободаетъ обѣ наружныя оболочки глаза сзади, около полюса, нѣсколько ближе къ носу. Внутренній слой глазной оболочки образуется развѣтвленіемъ этого нерва.

Фиброзная оболочка глаза.

§ 5. Наружный слой глазныхъ оболочекъ по своему характеру причисляется къ фибрознымъ перепонкамъ; задній,

непрозрачный отдѣлъ этаго слоя называется бѣлковой оболочкой, передній, ме́ньшій (болѣе выпуклый) и прозрачвый — роговой оболочкой. Эти два отдѣла, хотя и образованы изъ однороднаго вещества, отличаются въ совершенно развитомъ состояніи, не только по внѣшнему виду, но и по химическимъ свойствамъ и микроскопическому строенію. Бѣлковая оболочка представляетъ сплетевіе фиброзныхъ волоковъ изъ клей дающаго вещества. Роговая — состоитъ изъ менѣе развитой соединительной ткави, съ многочисленными тѣльцами, показывающими правильное распредѣлевіе по слоямъ. Въ этихъ слояхъ замѣчается въ свою очередь правильное линейное расположеніе. При кипяченіи роговая оболочка даетъ хондринъ.

Переходъ роговой оболочки въ бѣлковую хотя и постепененъ, но такъ быстръ, что даже для простаго глаза замѣтна рѣзкая граница между пими. Граница эта стоитъ ве отвѣсно къ поверхвости оболочекъ: снаружи заходитъ далѣе бѣлковая, снутри — роговая. Въ бѣлковой оболочкѣ развѣтвляется широкими петлями сѣть волосныхъ сосудовъ. Нервовъ въ ней еще ве открыто. Роговая оболочка въ вормальномъ состоявіи ве имѣетъ волосвыхъ сосудовъ, но заключаетъ верввыя волокна.

Передняя поверхвость роговой оболочки покрыта пластинчатымъ эпителіемъ, составляющимъ продолженіе эпителія т. наз. слизистой оболочки глаза. На задвей (вогнутой) поверхности роговой оболочки лежитъ безформевная перепонка въ 0,007—0,015 мм. толщивы, такъ называемая Десцеметова оболочка. Она покрыта ва свободной поверхвости слоемъ плоскихъ эпителіальныхъ клѣтокъ.

Около края роговой оболочки Десцеметова перепонка переходитъ въ сѣть эластическихъ волоковъ, постепенво сливающихся съ самымъ ввутреннимъ слоемъ бѣлковой оболочки. Къ этой сѣти примѣшивается значительвое ко-

личества мышечныхъ элементовъ (m. ciliaris), родящихся отъ внутренней поверхности передняго края бѣлковой оболочки. До послѣдняго времени существовало мнѣніе, что эластическая сѣть, образовавшись изъ Десцеметовой перепонки, отстаетъ нѣсколько отъ общей массы роговой и бѣлковой оболочекъ, а потомъ снова соединяется съ послѣднею, образуя такимъ образомъ кольцевый ходъ, т. наз. Шлеммовъ каналъ; но новѣйшія изслѣдованія показали, что это есть ничто иное, какъ кольцевое венное сплетеніе, погребенное въ толщѣ эластическихъ и мышечныхъ волоконъ.

Бѣлковая оболочка утончаясь переходитъ сзади на зрительный нервъ и покрываетъ его до входа въ черепную полость, гдѣ соединяется съ твердой мозговой оболочкой. Оставъ соединительной ткани, въ которомъ заключены пучки волоконъ зрительнаго нерва, тоже связанъ съ бѣлковой оболочкой. Если отрѣзать зрительный нервъ у самаго глазнаго яблока и уничтожить нервные элементы путемъ вымачиванія, то въ отверстіи бѣлковой оболочки останется родъ рѣшетки изъ соединительной ткани, такъ называемая дырчатая пластинка. Толщина бѣлковой оболочки спереди и сзади равняется приблизительно $^1/_2$ линіи; въ экваторіальномъ поясѣ нѣсколько тоньше. Роговая оболочка у краевъ одинаковой толщины съ бѣлковой, въ срединѣ - нѣсколько тоньше - около $^2/_5$ линіи.

Сосудистая пигментированная оболочка.

§ 6. Вторая оболочка глазнаго яблока состоитъ изъ весьма разнообразныхъ тканей. Это такъ называемая «Uvea» пигментированная сосудистая оболочка. Ее раздѣляютъ на два отдѣла: задній, большій, называемый сосудистой оболочкой (chorioidea), и передній меньшій,—раекъ или радужную оболочку (iris). Первый отдѣлъ выстилаетъ всю внутреннюю

поверхность бѣлковой оболочки, а второй лежитъ позади роговой, будучи однако отдѣленъ отъ нея свободнымъ пространствомъ.

Главную часть разсматриваемой нами оболочки составляетъ густая сѣть кровеносныхъ сосудовъ, вплетенная въ оставъ соединительной ткани. Артеріи этой сѣти суть: заднія короткія рѣсничныя (art. ciliar. post. breves), вѣтви глазничной артеріи, числомъ около 20. Онѣ входятъ большею частію вблизи зрительнаго нерва черезъ бѣлковую оболочку и развѣтвляясь постепенно на болѣе и болѣе тонкія вѣточки, направляются кпереди.

Прежде думали, что одна часть этихъ сосудовъ, именно та, которая лежитъ въ болѣе поверхностномъ слоѣ, переходитъ въ вены (собирающіяся въ узлы, vortices) прямо, безъ посредства волосныхъ сосудовъ; но по новѣйшимъ тщательнымъ изслѣдованіямъ Лебера, который воспользовался въ своей работѣ всѣми новѣйшими усовершенствованіями технической стороны наливанія кровеносной системы, артеріи сосудистой оболочки переходятъ въ вены повсюду черезъ посредство волосныхъ сосудовъ. Во всякомъ случаѣ волосная сѣть сосудистой оболочки образуетъ ея внутренній слой и оканчивается спереди параллельнымъ кругомъ, которому мы впослѣдствіи дадимъ названіе „зубчатаго края сѣтчатой оболочки" (ora serrata retinae). Отсюда сосудистая оболочка измѣняется въ характерѣ. Именно съ внутренней поверхности ея начинаютъ подниматься складки, числомъ 60—70, идущія по меридіанамъ глаза впередъ. Въ уровнѣ края хрусталика онѣ достигаютъ наибольшей высоты, а за тѣмъ быстро понижаются и переходятъ на внутреннюю поверхность райка.

Складки же называются „рѣсничными" (plicae ciliares), а ихъ передніе выступы „рѣсничными отростками" (process. ciliares). Масса тѣхъ и другихъ состоитъ премущественно изъ

сплетеній сосудовъ, которыхъ артеріи родятся изъ большаго артеріальнаго вѣнка радужной оболочки и на пути отсюда къ отросткамъ пронизываютъ толщу рѣсничной мышцы (Леберъ).

Венная кровь, возвращающаяся изъ всѣхъ описанныхъ нами волосныхъ сплетеній, собирается главнымъ образомъ въ упомянутые уже венные узлы. Послѣдніе образуются на опредѣленныхъ симметрически расположенныхъ точкахъ глазнаго экватора внезапнымъ сліяніемъ большаго числа вѣточекъ другъ съ другомъ. Выходящіе отсюда венные стволы вмѣстѣ съ нѣкоторыми другими, образующимися далѣе кзади, прободаютъ бѣлковую оболочку недалеко отъ мѣста вхожденія въ нее зрительнаго нерва и вливаются подъ именемъ заднихъ рѣсничныхъ венъ въ глазную вену.

Раекъ. § 7. Спереди, около мѣста соединенія бѣлковой оболочки съ прозрачною, сосудистая оболочка глаза переходитъ въ раекъ или радужную оболочку, имѣющую въ срединѣ круглое отверстіе. Раекъ тоже очень богатъ волосными сосудами. Послѣдніе не представляютъ однако прямаго продолженія волосныхъ сосудовъ сосудистой оболочки. Они происходятъ отъ развѣтвленія особенныхъ артерій, дошедшихъ до райка безъ вѣтвленія. Именно, нѣкоторыя изъ этихъ артерій входятъ въ глазное яблоко сзади вмѣстѣ съ артеріями сосудистаго слоя и тянутся подъ бѣлковой оболочкой кпереди вплоть до радужной. Ихъ называютъ длинными задними рѣсничными артеріями. Другія, переднія рѣсничныя артеріи, суть вѣтви артерій глазныхъ мышцъ и слизистаго покрова; онѣ прободаютъ бѣлковую оболочку спереди вблизи края роговой и направляются отсюда къ райку. Таже исторія повторяется и съ венами. Сосуды радужной оболочки имѣютъ вообще лучистое расположеніе, по вокругъ зрачка и наружнаго края райка они соединяются множествомъ поперечныхъ анастомозъ. Отъ этого происходитъ два сосудистыхъ вѣнка:

меньшій (circulus iridis minor)—вокругъ зрачка и большій (circulus iridis major) — вокругъ наружнаго края радужной оболочки.

§ 8. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сосудистой оболочки лежатъ въ опредѣленномъ порядкѣ гладкія мышечныя волокна. Наибольшая масса ихъ образуетъ мышцу Брюке, натягивающую сосудистую оболочку (m. tensor chorioideae) сзади наперелъ. Волокна этой мышцы родятся спереди отъ внутренней поверхности передняго края бѣлковой оболочки и направляются назадъ по меридіанамъ глаза, облегая снаружи сосудистую оболочку и теряясь въ ткани ея на высотѣ зубчатаго края сѣтчатки. Твердая точка опоры для этой мышцы есть мѣсто ея передняго прикрѣпленія. Подъ нею, на высотѣ края хрусталика, лежитъ другая система мышечныхъ волоконъ, открытая Г. Мюллеромъ. Она представляетъ замкнутое въ себя кольцо, лежащее въ плоскости перпендикулярной къ оси глаза (слѣдовательно въ параллельномъ къ углѣ глазнаго яблока) и охватывающее хрусталикъ. Эта мышца имѣетъ значеніе сфинктера. Изъ гладкихъ мышечныхъ волоконъ райка одна часть расположена кольцомъ вокругъ зрачковаго края, а другая имѣетъ лучистое расположеніе. Первая система при своемъ сокращеніи очевидно должна съуживать зрачекъ; вторая же расширяетъ его, такъ какъ неподвижная точка опоры составляющихъ ее волоконъ лежитъ въ фиброзной части Десцеметовой оболочки. Мышцы сосудистой оболочки богато снабжены нервными волокнами. Послѣднія родятся частью изъ рѣсничнаго тѣла, частью представляютъ прямыя развѣтвленія носорѣсничной вѣтви тройничнаго нерва. Рѣсничная мышца.

Всѣ эти нервныя вѣточки, 14 или болѣе числомъ, называются рѣсничными нервами. Вѣтви, отходящія отъ рѣсничнаго тѣла, называются короткими рѣсничными нервами, остальныя — длинными рѣсничными. Послѣднихъ бываетъ

обыкновенно только двѣ. Рѣсничные нервы прободаютъ бѣлковую оболочку вблизи мѣста вхожденія въ нее зрительнаго нерва въ нѣсколькихъ точкахъ вокругъ послѣдняго. Затѣмъ они идутъ по поверхности сосудистой оболочки вмѣстѣ съ длинными сосудами впередъ и теряются въ мышцѣ Брюке и Мюллера. Здѣсь и кончается большая часть волоконъ. Изъ остальныхъ немногія переходятъ черезъ бѣлковую оболочку въ роговую, а большинство тянется къ мышечнымъ волокнамъ райка.

Пигментный слой (uvea). § 9. Внутренняя поверхность сосудистой оболочки выстлана безформенной перепонкой, заключающей въ себѣ небольшое число зеренъ. Свободная, внутренняя сторона ея покрыта слоемъ шестиугольныхъ клѣтокъ, которыя биткомъ набиты бурымъ зернистымъ пигментомъ. Только въ серединѣ, въ мѣстѣ, гдѣ лежитъ зерно, остается свѣтлый промежутокъ. Слой пигментныхъ клѣтокъ нѣсколько утончается въ верхушкахъ рѣсничныхъ складокъ, а на краю зрачка онъ внезапно прерывается. Въ глазахъ альбиносовъ этотъ слой тоже встрѣчается, но его клѣтки не содержатъ пигмента. Оставъ, въ который, какъ уже было сказано, вплетены мышцы, сосуды и нервы сосудистой оболочки, нѣсколько отличается отъ обыкноненной соединительной ткани. Именно звѣздчатыя клѣтки, соотвѣтствующія тѣльцамъ послѣдней, наполнены здѣсь пигментомъ, который лежитъ всего гуще вокругъ зерна. Однако въ этихъ клѣткахъ нѣтъ недостатка и въ отросткахъ съ многочисленными анастомозами, такъ что онѣ образуютъ настоящія пигментныя сѣти. Въ оставѣ райка иногда не встрѣчается пигмента, и тогда онъ отъ просвѣчиванія темнаго слоя, выстилающаго его снутри, получаетъ голубоватый оттѣнокъ. Слой эпителія, покрывающій внутреннюю поверхность роговой оболочки, продолжается и на переднюю поверхность радужной. Пигментный слой въ задней половинѣ глазнаго яблока, тамъ, гдѣ онъ служитъ подстилкой сѣтчаткѣ, слѣдуетъ разсматривать, какъ составную часть послѣдней.

Сѣтчатая оболочка.

§ 10. Къ вогнутой поверхности сосудистой оболочки плотно прилегаетъ, не сростаясь однако съ нею, сѣтчатая или нервная оболочка глаза. Большая часть этой перепонки образуется изъ периферическихъ концовъ волоконъ зрительнаго нерва. Но самый внутренній слой ея представляетъ самостоятельную перепонку, кажущуюся безформенной. Эта такъ называемая граничная пленка (membrana limitans) тянется по всему протяженію сосудистой оболочки. Отъ прибавленія уксусной кислоты подъ микроскопомъ въ этой перепонкѣ выступаютъ шестиугольныя клѣтки. Ниже мы увидимъ, что она мѣстами сростается съ другими образованіями.

Собственно нервная часть сѣтчатой оболочки кончается зубчатымъ краемъ (ora serrata retinae), идущимъ параллельно съ экваторомъ глаза, и нѣсколько впереди его. Разстояніе этого края отъ границы между райкомъ и сосудистой оболочкой на внутренней (носовой) сторонѣ глаза равняется приблизительно 6 мм., а на наружной—приблизительно 7 мм. Онъ соотвѣтствуетъ началу рѣсничныхъ складокъ. За зубчатымъ краемъ, кпереди между граничной пленкой и сосудистой оболочкой, образующей здѣсь рѣсничныя складки, лежитъ вмѣсто нервнаго вещества слой кругловатыхъ клѣтокъ около 0,01 мм. въ поперечникѣ. На задней поверхности райка исчезаютъ и эти клѣтки, такъ что здѣсь пленка лежитъ непосредственно на слоѣ пигментныхъ клѣтокъ.

Сѣтчатая оболочка имѣетъ свою собственную систему кровеносныхъ сосудовъ; артеріи ея представляютъ развѣтвленія центральной сѣтчатой артеріи, лежащей внутри зрительнаго нерва. Вены, относящія кровь, лежатъ вездѣ почти рядомъ съ артеріями и сливаются въ центральную сѣтчатую вену, оставляющую глазъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ въ него входитъ центральная артерія сѣтчатой оболочки.

Въ нервной части сѣтчатки отличаютъ оставъ, образованный по всей вѣроятности изъ соединительной ткани, и собственно нервныя образованія. Послѣднія состоятъ изъ различныхъ элементовъ, расположенныхъ по толщѣ сѣтчатки слоями, притомъ такимъ образомъ, что каждый изъ слоевъ заключаетъ въ себѣ исключительно элементы одного рода. Ткань же остава вездѣ болѣе или менѣе однородна и только въ двухъ мѣстахъ представляетъ сгущеніе составляющихъ ее элементовъ. Она пронизываетъ всѣ нервные слои, за исключеніемъ самаго наружнаго.

Основаніемъ всему оставу сѣтчатки служитъ уже извѣстная читателю внутренняя граничная пленка *ll* (рис. 1, а), такъ какъ въ нее внѣдряются утолщенными концами всѣ волокна остава. Собственно же въ толщѣ сѣтчатой оболочки ткань послѣдняго представляется сѣтью чрезвычайно тонкихъ, едва доступныхъ микроскопу, нитей, родящихся изъ волоконъ большей величины, которыя имѣютъ лучистое направленіе, т. е. пронизываютъ толщу сѣтчатки сзади напередъ. Лучистыя волокна *eeee*, съ вкрапленными въ нихъ зернами *e'* (называемыя также лучистыми волокнами Г. Мюллера) составляютъ какъ бы основные столбы или балки остава; родящіяся же изъ нихъ нити переплетаются въ сѣть, представляющую родъ губчатой массы. Въ двухъ мѣстахъ по толщѣ сѣтчатки, именно въ слояхъ *g* и *d* губчатая масса значительно сгущается. Вообще же вещество ткани остава отличается блѣдностью; контуры лучистыхъ волоконъ не рѣзки и неправильны, вслѣдствіе отхожденія отъ нихъ нитей, образующихъ сѣти. Зерна въ лучистыхъ волокнахъ встрѣчаются лишь на высотѣ слоя промежуточнаго между *d* и *g* и отличаются отъ сосѣднихъ нервныхъ образованій того же рода (т. е. зеренъ) формой (отсутствіемъ отростковъ) и недостаткомъ облегающаго слоя протоплазмы. За наружную или заднюю границу остава сѣтчатки (линія *aa*) принимаютъ линію раздѣла между

двумя самыми наружными нервными слоями сѣтчатки. Неизвѣстно однако, существуетъ ли и здѣсь самостоятельная перепонка подобная *ll*, такъ называемая наружная граничная пленка, или линія *aa*, видимая подъ микроскопомъ, есть лишь оптическое выраженіе прямолинейнаго раздѣла между двумя разнородными слоями сѣтчатой оболочки. Во всякомъ случаѣ положительно извѣстно, что оставъ сѣтчатки не заходитъ за предѣлъ *aa*.

Нервныя образованія сѣтчатки распредѣлены изнутри кнаружи въ слѣдующіе 7 слоевъ, отличающихся другъ отъ друга подъ микроскопомъ: 1) слой нервныхъ волоконъ; 2) слой нервныхъ клѣтокъ; 3) мелко-зернистый слой; 4) внутренній зернистый слой; 5) межзернистый слой; 6) наружный зернистый слой и 7) палочный слой.

Первый изъ нихъ *ii* (рис. 1, b), лежащій непосредственно за граничной пленкой, представляетъ сѣть волоконъ зрительнаго нерва, расплющенную въ перепонку. Толщина волоконъ колеблется здѣсь между 0,0005 и 0,0045 мм. Въ нихъ не замѣчается всѣхъ обыкновенныхъ составныхъ элементовъ цѣльнаго нервнаго волокна, поэтому они считаются обнаженными осевыми цилиндрами. Это же подтверждается и наклонностью ихъ образовать по длинѣ варикозныя утолщенія. Въ ткани нервной сѣти нѣтъ никакихъ образованій, которыя можно было бы принять за окончанія нервныхъ волоконъ; съ другой стороны принять исключительно для зрительнаго нерва окончаніе его нитей петлями нѣтъ никакого основанія (напротивъ физіологическіе доводы требуютъ свободнаго окончанія его нитей); поэтому думаютъ, что свободные концы зрительныхъ волоконъ поднимаются изъ плоскости 1-го слоя кзади и вступаютъ въ соединеніе съ элементами 2-го слоя *hh*, т. е. съ нервными клѣтками, имѣющими отростки.

Связь названныхъ элементовъ можетъ быть доказана съ положительностью конечно только анатомическимъ путемъ,

Рис. 1 a.

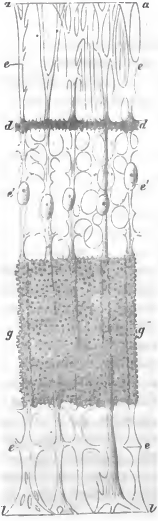
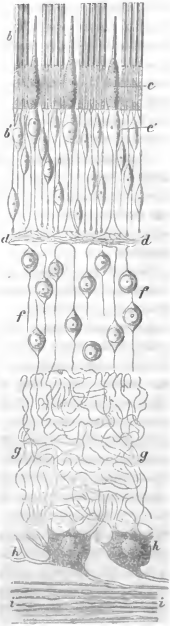


Рис. 1 b.



(т. е. посредствомъ микроскопа), и въ наукѣ существуютъ отдѣльныя случайныя наблюденія нѣсколькихъ авторитетовъ въ гистологіи (Г. Мюллера, Келликера, Ремака и М. Шульце), подтверждающія это соединеніе. Однако всякому понятно, какъ трудно довѣряться микроскопу именно въ вопросѣ о связи нервныхъ волоконъ съ отростками нервныхъ клѣтокъ; поэтому она допускается въ данномъ случаѣ скорѣе на физіологическихъ, чѣмъ анатомическихъ основаніяхъ.

Допустивши же разъ такую связь, физіологи ведутъ нервный путь и за предѣлы слоя нервныхъ клѣтокъ.

Послѣднія, подобно клѣткамъ спиннаго мозга, М. Шульце считаетъ органами, при посредствѣ которыхъ обнаженный осевой цилиндръ разсыпается на составные элементы, т. е. волоконца едва доступныя микроскопу, отличающіяся однако ровными и ясными очертаніями. Сѣть этихъ элементарныхъ волоконецъ составляетъ третій, такъ называемый мелкозернистый слой сѣтчатки (*gg*).

Слѣдующій за тѣмъ 4-й, внутренній зернистый, слой *ff* отличается отъ предъидущаго тѣмъ, что здѣсь элементы осеваго цилиндра имѣютъ болѣе лучистое направленіе и прерываются на пути зернистыми образованіями, или правильнѣе клѣтками. Относительно послѣднихъ волоконца играютъ роль клѣточныхъ отростковъ, оттого самыя клѣтки дѣлаются двухвостыми. Наибольшую часть ихъ составляетъ зерно съ зернышкомъ, протоплазматическая же обкладка, хотя и видима, но очень тонка, оттого образованія эти считались зернами и самый слой названъ зернистымъ.

Въ 5-мъ, межзернистомъ, слоѣ сѣтчатки (*dd*), самомъ тонкомъ изъ всѣхъ, волоконца снова уклоняются отъ лучистаго направленія и, переплетаясь между собою, запутываются до такой степени, что связь ихъ съ элементами слѣдующаго слоя дѣлается неопредѣлимой въ анатомическомъ смыслѣ и допускается лишь на основаніи физіологическихъ доводовъ,

Именно, въ 6-мъ, наружномъ зернистомъ, слоѣ сѣтчатки микроскопъ открываетъ рядомъ съ образованіями, совершенно подобными нервнымъ элементамъ внутренняго зернистаго слоя, элементы новаго рода — волокна большей толщины, похожія по размѣрамъ и виду на обнаженные цѣльные осевые цилиндры 1-го слоя. Элементы 1-го рода, т. е. части осеваго цилиндра, начинаясь въ 6-мъ слоѣ (изнутри кнаружи) пуговчатыми утолщеніями, неимѣющими опредѣлимой связи съ подлежащими образованіями, идутъ по толщѣ 6-го слоя въ формѣ чрезвычайно тонкихъ нитей и прерываются на пути непремѣнно одинъ только разъ (разныя волоконца на разныхъ высотахъ) двухвостою клѣткою съ большимъ зерномъ. Волокна же большихъ размѣровъ сидятъ па 5-мъ слоѣ, какъ утолщенные нижніе концы деревьевъ на почвѣ, пуская въ нее корни; именно, изъ конусообразныхъ утолщеній этихъ волоконъ, въ случаѣ если сѣтчатка случайно расщепляется по *dd*, выступаютъ, по наблюденіямъ М. Шульце, тонкія нити, какъ мочки изъ корня. Поэтому названный изслѣдователь принимаетъ непосредственный переходъ этихъ нитей въ элементы 5-го слоя; способъ же связи съ послѣдними пуговчатыхъ концовъ волоконецъ онъ оставляетъ не рѣшеннымъ.

Если принять поэтому вмѣстѣ съ М. Шульце толстыя волокна 6-го слоя за цѣльные обнаженные осевые цилиндры, то ихъ возникновеніе слѣдуетъ приписать сочетанію волоконецъ 4-го слоя, происходящему при посредствѣ 5-го.

На пути къ послѣднему, т. е. къ 7-му слою сѣтчатки, непосредственно передъ нимъ, обнаженные осевые цилиндры переходятъ въ грушевидныя расширенія съ зернышкомъ внутри—въ такъ называемыя зерна колбочекъ. Эти образованія совершенно подобны клѣткамъ, прерывающимъ волоконца зернистыхъ слоевъ, только они больше ихъ.

Элементы 7-го слоя сѣтчатки суть колбочки и палочки.

Тѣ и другія стоятъ отвѣсно своими продольными осями къ поверхности сѣтчатки и совершенно плотно прилегаютъ другъ къ другу своими внутренними половинами; но около свободныхъ концовъ между ними существуютъ промежутки и здѣсь-то помѣщаются нитеобразные отростки пигментнаго слоя (uvea), покрывающаго сѣтчатку снаружи. Вещество палочекъ и колбочекъ по длинѣ ихъ неоднородно — наружная половина, или наконечникъ, преломляетъ свѣтъ сильнѣе внутренней. Палочки по всей своей длинѣ представляются цилиндрическими, въ колбочкахъ же наконечникъ обыкновенно коническій, а тѣло колбообразное. Съ наружныхъ концовъ палочки обыкновенно толще колбочекъ, за то послѣднія толще ихъ въ мѣстѣ своихъ расширеній. По М. Шульце наприм. нижній діаметръ наконечниковъ колбочекъ не превышаетъ 0,001 мм.; діаметръ палочекъ среднимъ числомъ = 0,0018 мм., а діаметръ утолщеній колбочекъ колеблется въ разныхъ частяхъ сѣтчатки (см. ниже) между 0,0025—0,005 мм. На уровнѣ верхней граничной пленки, палочки быстро утончаются и переходятъ въ волоконца зернистыхъ слоевъ. Тамъ, гдѣ клѣтка, прерывающая путь послѣднихъ, лежитъ непосредственно подъ *aa*, переходъ палочки въ клѣтку происходитъ посредствомъ короткой шейки. Колбочки же всѣ безъ исключенія отдѣлены отъ своихъ зеренъ лишь незначительнымъ перехватомъ.

И такъ, согласно новѣйшимъ изслѣдованіямъ М. Шульце, волокна зрительнаго нерва кончаются какъ въ палочки, такъ и въ колбочки самаго наружнаго слоя сѣтчатки, съ тою однако разницею, что послѣднія представляютъ концевые аппараты цѣльныхъ осевыхъ цилиндровъ, а первыя суть окончанія частей ихъ.

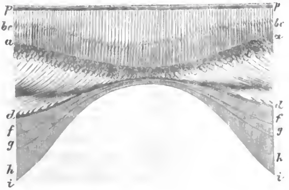
Описанные слои сѣтчатки не на всемъ протяженіи ея развиты такъ, какъ показано на рис. 1, изображающемъ разрѣзъ изъ боковыхъ частей ея. — Наибольшее уклоненіе отъ этого типа представляетъ мѣсто вхожденія зрительнаго

нерва въ полость глазнаго яблока и такъ называемое **желтое пятно**. Въ первомъ мѣстѣ, лежащемъ кнутри (къ носу) отъ точки пересѣченія глазнаго дна съ оптической осью глаза, недостаетъ всѣхъ нервныхъ слоевъ сѣтчатки, за исключеніемъ 1-го, т. е. слоя нервныхъ волоконъ. За то слой этотъ здѣсь толще чѣмъ гдѣ нибудь, такъ что образуетъ выступъ изъ уровня сѣтчатой оболочки, называемый **возвышеніемъ зрительнаго нерва** (collicul. n. optici). Кромѣ того мѣсто входа зрительнаго нерва отличается отъ прочихъ областей сѣтчатки еще тѣмъ, что здѣсь недостаетъ пигментированной черной подкладки, такъ какъ волокна зрительнаго нерва продырявливаютъ вмѣстѣ съ бѣлковой и сосудистую оболочку.

Желтое пятно (macula lutea) лежитъ вокругъ точки пересѣченія сѣтчатой оболочки съ глазной осью и имѣетъ овальную форму. Болѣе длинный горизонтальный поперечникъ пятна равняется приблизительно 1,44‴; болѣе короткій, отвѣсный — приблизительно 0,35‴, Это мѣсто получило свое названіе отъ пигмента желтоватаго цвѣта, который проникаетъ здѣсь всю толщу сѣтчатой оболочки за исключеніемъ слоя палочекъ. Въ серединѣ желтаго пятна лежитъ безцвѣтное, утонченное, и слѣдовательно углубленное мѣсто, такъ называемое **центральное углубленіе** (fovea centralis) сѣтчатки. Оно имѣетъ 0,08—0,1‴ въ поперечникѣ. Въ мѣстѣ центральнаго углубленія недостаетъ, какъ показываетъ приложенный рисунокъ 2-й всѣхъ слоевъ сѣтчатки, за исключеніемъ палочнаго и наружнаго зернистаго, который здѣсь тоже тоньше обыкновеннаго. За то колбочки здѣсь длиннѣе, чѣмъ гдѣ нибудь (наибольшая длина достигаетъ здѣсь 0,118 мм., а въ периферіи retinae она около 0,05 мм.), такъ какъ пигментный слой сосудистой оболочки не измѣняетъ въ желтомъ пятнѣ своего направленія, а наружная граничная пленка дѣлаетъ изгибъ кнутри. Отсутствіе внутреннихъ слоевъ сѣтчатки обусловливаетъ то, что волокна наружнаго зернистаго

слоя имѣютъ въ желтомъ пятнѣ, и въ особенности въ окружности его, косое расходящееся направленіе.

Рис. 2.



Желтое пятно, съ его центральнымъ углубленіемъ, отличается отъ боковыхъ частей сѣтчатки еще тѣмъ, что въ послѣднихъ колбочки перемѣшаны съ палочками (обыкновенно между двумя сосѣдними колбочками по ближайшему прямому направленію лежитъ 2 или 3, но никакъ не болѣе, палочекъ, и это отношеніе распространяется на всю поверхность сѣтчатки за исключеніемъ желтаго пятна); здѣсь же наружный слой сѣтчатки состоитъ изъ однѣхъ только колбочекъ.

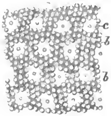
То и другое выражено на рис. 3, изображающемъ плоскостной видъ палочнаго слоя. Фиг. *a* изображаетъ боковыя части сѣтчатки, фиг. *b* — вырѣзокъ изъ желтаго пятна съ его центральнымъ углубленіемъ. Въ *a* разрѣзы палочекъ въ формѣ кружковъ стоятъ тѣсно другъ подлѣ друга, бѣлыя же пустоты между ними изображаютъ колбочки, а маленькіе кружки въ серединѣ послѣднихъ — наконечники колбочекъ. Въ сегментѣ *b* центральная половина изображена съ слоемъ пигмента, покрывающимъ колбочки, такъ что бѣлыя точки соотвѣтствуютъ просвѣчивающимъ наконечникамъ колбочекъ.

Остальная часть сегмента изображена безъ пигмента. Въ этой фигурѣ достойны вниманія два обстоятельства: взаимное положеніе колбочекъ и постоянное уменьшеніе діаметровъ ихъ утолщеній въ направленіи къ центру углубленія желтаго пятна. Относительно перваго рисунокъ показываетъ, что колбочки расположены концентрическими кругами, притомъ такимъ образомъ, что элементъ всякаго даннаго круга приходится противъ промежутковъ двухъ колбочекъ сосѣднихъ круговъ.

Рис. 3 b.

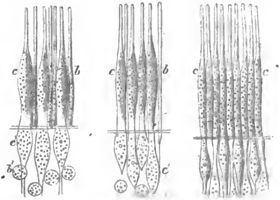


Рис. 3 a.



Постоянное уменьшеніе діаметровъ утолщеній колбочекъ съ приближеніемъ ихъ къ

Рис. 4.



центру желтаго пятна показано въ профиль на рис. 4. Около самаго центра діаметръ этотъ почти равенъ діаметру палочки.

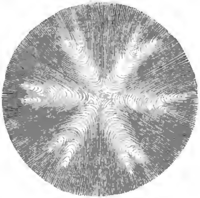
Замѣчу еще разъ, что по новѣйшимъ изслѣдованіямъ М. Шульце отношеніе между числомъ колбочекъ и окружающихъ ихъ палочекъ остается на всемъ протяженіи боковыхъ частей сѣтчатки постояннымъ—не такъ, какъ думали прежде, что съ удаленіемъ отъ желтаго пятна количество палочекъ все увеличивается, а число колбочекъ наоборотъ уменьшается.

Хрусталикъ.

§ 11. Пространство, заключенное въ описанныхъ нами оболочкахъ, выполнено безъ промежутковъ почти совершенно прозрачными безцвѣтными массами, частью жидкими, частью полутвердыми. Мы теперь займемся описаніемъ ихъ внѣшняго характера, взаимнаго положенія и способа укрѣпленія. Начнемъ съ хрусталика. Это двояковыпуклое, чечевицеобразное тѣло, почти вполнѣ прозрачно и лежитъ непосредственно за радужной оболачкой. Хрусталикъ заключенъ въ прозрачной, какъ стекло, довольно упругой и плотно облегающей его сумкѣ, передняя поверхность которой, по мнѣнію нѣкоторыхъ, покрыта подобнымъ же эпителіемъ какъ и задняя поверхность Десцеметовой оболочки; съ этимъ впрочемъ несогласны другіе авторы. Хрусталикъ вмѣстѣ съ своей сумкой представляетъ чрезвычайно упругое тѣло; форма его можетъ быть легко измѣнена посторонними вліяніями, но какъ только эти послѣднія перестаютъ дѣйствовать, онъ вновь возвращается къ прежнему виду. Поперечникъ наибольшей окружности хрусталика равняется 9—10 мм.; толщина его спереди назадъ около 4—5 мм. Передняя, менѣе выпуклая, поверхность имѣетъ форму элипсоида; задняя, болѣе выпуклая — параболоида. Основное вещество хрусталика есть такъ называемый глобулинъ или кристаллинъ; оно имѣетъ въ слабой степени способность двояко преломлять свѣтъ. Содержимое сумки представляетъ по новѣйшимъ изслѣдованіямъ Беккера сочетаніе форменныхъ частей и жидкости, наполняющей свободныя

промежутки между первыми. Форменные элементы хрусталика суть волокна, имѣющія въ поперечномъ разрѣзѣ видъ удлиненнаго шестиугольника, въ 0,0056—0,0112 мм. ширины и 0,002—0,0038 толщины; они расположены слоями. Наибольшій поперечникъ разрѣзовъ вездѣ параллеленъ съ поверхностью слоевъ. Послѣдніе легко отдѣляются другъ отъ друга, на подобіе слоевъ луковицы; но такъ какъ вещество хрусталика мягко и легко расплывается, то они не сохраняютъ первоначальной формы. Слои тѣмъ плотнѣе, чѣмъ болѣе приближаются къ срединѣ; вмѣстѣ съ тѣмъ они по своей формѣ все болѣе и болѣе приближаются къ шару. Приложенный рисунокъ 5 показываетъ расположеніе слоевъ хрусталика въ разрѣзѣ, проведенномъ черезъ ось. Въ каждомъ изъ нихъ волокна направляются отъ периферіи къ центру, но прійдя

Рис. 5.



сюда, загибаются и снова возвращаются къ периферіи. Каждое волокно описываетъ поэтому родъ гиперболы. Верхушки всѣхъ волоконъ лежатъ такимъ образомъ, что образуютъ звѣздчатую фигуру въ каждомъ слоѣ. Рисунокъ 5 показываетъ и это расположеніе волоконъ. Въ внутреннихъ слояхъ звѣзда имѣетъ большею частью не болѣе трехъ лучей.

Эти-то звѣздообразныя фигуры и суть, по изслѣдованіямъ Беккера, главныя вмѣстилища жидкости, пронизывающей толщу хрусталика. Отсюда она проникаетъ въ свободные тонкіе промежутки, лежащіе всегда между тонкими сторонами шестисторонвихъ волоконъ. Съ точки зрѣнія этихъ изслѣдованій измѣненія формы хрусталика, подъ вліяніемъ дѣйствующихъ на него извнѣ механическихъ силъ, объясняются перемѣщеніемъ жидкости изъ однихъ точекъ въ другія; — и нужно признаться, что это объясненіе проще, чѣмъ принимавшееся прежде сдавливаніе и разбуханіе полутвердыхъ волоконъ.

Непосредственно подъ сумкой лежитъ слой мягкихъ клѣтокъ, которыя очень легко расплываются, вслѣдствіе чего и носятъ названіе Моргавьевой жидкости. Подобныя же клѣтки встрѣчаются и далѣе внутри хрусталика, въ извѣстныхъ уже намъ лучахъ звѣздообразныхъ фигуръ.

Стекловидное тѣло.

§ 12. Промежутокъ между сѣтчатой оболочкой и хрусталикомъ совершенно наполненъ такъ называемымъ стекловиднымъ тѣломъ. Оно должно поэтому имѣть углубленіе, соотвѣтствующее выпуклости задней поверхности хрусталика. Это углубленіе называется „fossa patellaris“. Стекловидное тѣло представляетъ родъ студня, изъ котораго, по разрушеніи остава, получается не тягучая жидкость, содержащая воду съ 1,69 до 1,98% твердыхъ частей. Половину послѣднихъ представляютъ неорганическія соли, именно поваренная соль, углекислый натръ, слѣды извести, сѣрной и фосфорной кислотъ. Изъ органическихъ веществъ въ стекловидномъ тѣлѣ содержится преимущественно слизь и кромѣ того слѣды протеиноваго вещества.

Первоначально стекловидное тѣло развивается изъ клѣтокъ; но въ болѣе зрѣлые годы отъ этого клѣточнаго строе-

нія остаются едва примѣтные слѣды, въ видѣ неправильныхъ кусковъ оболочекъ и разсѣянныхъ мало—подвижныхъ зернистыхъ массъ. Впрочемъ при обработываніи стекловиднаго тѣла уксусокислымъ свинцомъ или хромовой кислотой, отъ которыхъ оно твердѣетъ (вслѣдствіе осажденія слизистаго вещества), въ немъ случается видѣть довольно правильныя полосы. Но и въ этихъ случаяхъ нельзя сказать утвердительно, что эти полосы соотвѣтствуютъ отжившимъ оболочкамъ клѣтокъ. Нѣкоторые анатомы утверждаютъ, съ другой стороны, что все стекловидное тѣло раздѣлено подобно апельсину, на вѣерообразные отрѣзки перепонками, которыя пересѣкаются между собою въ линіи, идущей отъ мѣста вхожденія зрителнаго нерва къ срединѣ задней поверхности хрусталика. Эта линія соотвѣтствуетъ ходу артеріи, которая въ зародышѣ несетъ кровь, но позднѣе уничтожается. Всего вѣроятнѣе, что характеръ стекловиднаго тѣла обусловливается исключительно небольшимъ количествомъ сильно разбухшей слизи, безъ участія какого бы то нибыло особаго строенія.

Стекловидное тѣло окружено прозрачной и безформенной (стекловидной) оболочкой, membrana hyaloidea. Она простирается впереди вплоть до задней поверхности хрусталика и сростается съ сѣтчаткой только у зубчатаго края ея и въ мѣстѣ вхожденія зрительнаго нерва. Около зубчатаго же края сѣтчатки родится упругая пластинка, которая направляется подъ рѣсничнымъ тѣломъ къ краю хрусталика, раздвоется здѣсь, образуя такъ называемый Петитовъ каналъ и прикрѣпляется обѣими половинами къ сумкѣ хрусталика по всей его окружности. Это есть такъ называемая Циннова пленка, zonula Zinnii. Она состоитъ, по наблюденіямъ Гейберга, преимущественно изъ эластическихъ волоконъ, но нѣкоторыя изъ нихъ представляютъ будто-бы несомнѣнную поперечную рубчатость, такъ что принимаются имъ за мышечныя волокна. Если бы это наблюденіе подтвердилось, то въ мышцѣ Цинновой плен-

ки мы имѣли бы механизмъ, способный уплощать хрусталикъ подъ вліяніемъ нервовъ.

Водянистая влага.

§ 13. Весь свободный промежутокъ впереди хрусталика, между нимъ и роговой оболочкой, выполненъ жидкостью, имѣющей консистенцію воды—водянистой влагой. Она состоитъ изъ воды съ 2% твердыхъ частей: поваренной соли и такъ называемыхъ экстрактивныхъ веществъ, между которыми мочевина доказана съ достовѣрностью.

Границы промежутка, наполненнаго водянистой влагой, опредѣлены ясно уже сказаннымъ выше. Онѣ даны роговой и сосудистой оболочками, пленкою Цинна и хрусталиковой сумкой. Въ этотъ промежутокъ свободно вдается радужная оболочка и дѣлитъ его на два отдѣла, сообщающіеся отверстіемъ зрачка. Пространство впереди райка называется передней глазной камерой; въ ней заключена наибольшая часть водянистой влаги. Промежутокъ, лежащій позади райка, задняя глазная камера, есть ничто иное, какъ капиллярная щель, потому что радужная оболочка прилегаетъ плотно къ передней поверхности хрусталика. Она содержитъ лишь такое количество водянистой влаги, какое нужно для смачиванія стѣнокъ.

Двигательный аппаратъ глазнаго яблока.

§ 14. Глазное яблоко можетъ двигаться на подобіе шаровиднаго сустава, т. е. можетъ принимать всевозможныя положенія, безъ перемѣщенія своей точки вращенія въ пространствѣ. Но конечно большія силы могутъ сдвинуть съ мѣста и все глазное яблоко, вмѣстѣ съ его центромъ. Такая подвижность достигается устройствомъ, лишь издалека напоминающимъ механизмъ суставовъ.

Глазное яблоко окружено но первыхъ нѣсколькими пластинками фиброзной ткани, такъ называемой Теноновой капсулой. Спереди онѣ прикрѣплены къ бѣлковой оболочкѣ и находятся здѣсь нъ снязи съ другими пластинками клѣтчатки, которыя тянутся къ краямъ глазницы. Между отдѣльными пластинками Теноновой капсулы, между его и бѣлковой оболочкой, равно какъ и на наружной ея поверхности, лежитъ рыхлая соединительная ткань, почти равная жидкости по подвижности своихъ частицъ. Все это уложено въ подстилку изъ рыхлой жирной клѣтчатки, наполняющей всю глазницу. Передній отдѣлъ глазнаго яблока выступаетъ какъ извѣстно свободно впередъ и своей гладкой поверхностью можетъ скользить безъ тренія по гладкой и скользкой задней поверхности вѣкъ.

Легко видѣть, что подобное устройство, нъ дѣлѣ подвижности, должно давать почти тѣже результаты какъ и шаровидное сочлененіе. Дѣйствительно перемѣщеніе глазнаго яблока въ пространствѣ существенно задержано плотностью жирной подстилки. На оборотъ, повороты во всевозможныхъ направленіяхъ около осей, идущихъ черезъ центръ глаза, не встрѣчаютъ почти никакого сопротивленія, вслѣдствіе чрезвычайной уступчивости слоевъ соединительной ткани въ ближайшей окружности глазнаго яблока. Сопротивленіе еще уменьшается тѣмъ, что перемѣщеніе, необходимое при каждомъ поворотѣ, распредѣлено между нѣсколькими подобными слоями. Впрочемъ, нѣкоторыя движенія глаза ограничиваются напряженіемъ зрительнаго нерва. Такъ какъ послѣдній однимъ концомъ прикрѣпляется къ глазному яблоку, а другимъ нъ зрительной дирѣ къ стѣнкамъ глазницы, то онъ конечно не можетъ допускать движеній, которыя бы удаляли мѣсто его вхожденія въ яблоко отъ зрительной диры. По этому зрительный нервъ играетъ иногда роль связки нъ суставѣ и ограничиваетъ кругъ движеній глазнаго яблока.

Движенія, возможность которыхъ мы доказали, осуществляются дѣятельностью шести мышцъ, идущихъ отъ костяной стѣнки глазницы къ глазному яблоку. Онѣ естественнымъ образомъ распадаются на три пары. Каждая изъ послѣднихъ двигаетъ глазное яблоко около одной и той же оси, въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ. Парныя мышцы представляютъ поэтому антагонистовъ.

Двѣ изъ этихъ паръ называются прямыми мышцами; прямая верхняя и нижняя—составляютъ одну, прямая внутренняя и наружная—другую пару. Подобно ребрамъ четырехсторонней пирамиды, онѣ сходятся у зрительной дыры, и прикрѣпляются здѣсь вокругъ зрительнаго нерва къ фиброзной ткани, окружающей зрительную дыру въ видѣ продолговатаго кольца. Всѣ четыре прямыя мышцы прикрѣпляются къ бѣлковой оболочкѣ на одинаковомъ почти разстояніи отъ края роговой — приблизительно на срединѣ между нимъ и глазнымъ экваторомъ. Точки прикрѣпленія прямыхъ мышцъ лежатъ слѣдовательно въ плоскости почти перпендикулярной къ глазной оси и образуютъ приблизительно равносторонній четырехугольникъ, одна діогональ котораго (связывающая мѣста прикрѣпленія верхней и нижней прямыхъ мышцъ) стоитъ отвѣсно, а другая (проведенная отъ мѣста прикрѣпленія наружной прямой мышцы къ внутренней) лежитъ горизонтально. Хотя мѣсто прикрѣпленія прямой наружной мышцы лежитъ нѣсколько кзади отъ этой плоскости, она тѣмъ не менѣе гораздо длиннѣе остальныхъ мышцъ, въ особенности внутренней прямой. Это легко понять, если прослѣдить ея ходъ: наружная мышца описываетъ большую дугу по наружной поверхности глазнаго яблока, тогда какъ внутренняя натянута почти по прямой линіи спереди назадъ. Само собой разумѣется, что ось, вокругъ которой обѣ эти мышцы двигаютъ глазное яблоко, будетъ вертикальной. Ось же, вокругъ которой ворочаетъ глазъ прямая верхняя мышца, идетъ

снаружи и нѣсколько сверху и сзади кнутри и нѣсколько впередъ и внизъ. Ось прямой нижней мышцы тоже отклоняется отъ горизонтальной: вмѣсто того, чтобы идти прямо снаружи внутрь, она идетъ въ тоже время нѣсколько снизу и сзади вверхъ и впередъ.

Обѣ косыя мышцы прикрѣплены къ заднему полушарію бѣлковой оболочки; верхняя — кзади и кнаружи отъ мѣста прикрѣпленія прямой верхней мышцы; косая нижняя—кзади и кверху отъ мѣста прикрѣпленія прямой наружной. Изъ этихъ точекъ сухожилія обѣихъ мышцъ идутъ въ вертикальной плоскости, содержащей въ себѣ центръ вращенія, и направляются сзади и снаружи впередъ и внутрь къ переднему краю глазницы. Сухожиліе верхней косой мышцы, при своемъ перекрещиваніи съ прямой верхней, лежитъ между послѣднею и глазнымъ яблокомъ. Прійдя къ верхнему внутреннему углу края глазницы, сухожиліе это идетъ черезъ прикрѣпленную здѣсь фиброзную петлю, такъ называемый блокъ, и за тѣмъ измѣняетъ свое направленіе. Оно идетъ прямо назадъ и становится мышцей. Волокна послѣдней прикрѣпляются между началомъ верхней и внутренней прямой мышцы къ описанному же фиброзному кольцу въ окружности зрительной дыры. Сухожиліе косой нижней мышцы становится тоже мышцей, идя отъ точки прикрѣпленія книзу, кнутри и кпереди. Эта мышца, при своемъ перекрещиваніи съ прямой нижней, лежитъ между послѣдней и дномъ глазницы. Затѣмъ она направляется къ нижнему краю послѣдней вблизи слезнаго желобка и здѣсь прикрѣпляется къ надкостницѣ. Изъ описанія косой мышечной пары выходитъ, что она двигаетъ глазное яблоко въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ вокругъ одной и той же оси, идущей горизонтально сзади и снутри кпереди и кнаружи. Ось эта образуетъ съ передне-задней осью глазнаго яблока уголъ приблизительно въ 40°.

Сухожилія всѣхъ глазныхъ мышцъ прободаютъ Тенонову капсулу въ косвенномъ направленіи, такъ что мѣстами идутъ между отдѣльными пластинками послѣдней. Это отношеніе толкуется нѣкоторыми тѣмъ, что Тенонова капсула снабжаетъ сухожилія футляробразными покровами. Послѣдніе дѣйствительно до нѣкоторой степени связаны съ нею. Поэтому глазная мышца, даже отрѣзанная отъ мѣста своего прикрѣпленія у бѣлковой оболочки, можетъ еще двигать глазомъ, посредствомъ Теноновой капсулы, которая спереди довольно плотно соединена съ глазнымъ яблокомъ.

Описавъ анатомическое устройство глазнаго яблока, мы можемъ уже перейти къ анализу перечисленныхъ выше зрительныхъ явленій.

Условія для того, чтобы ощущать свѣтъ.

§ 15. Всякому извѣстно конечно изъ обыденной жизни, что люди, страдающіе бѣльмами на глазахъ, т. е. помутнѣніями прозрачной роговой оболочки, теряютъ возможность видѣть предметы, но сохраняютъ способность отличать свѣтъ отъ тьмы. Ихъ свѣтовыя ощущенія имѣютъ совершенно тотъ характеръ, какъ если бы человѣкъ съ здоровыми глазами сталъ смотрѣть черезъ бѣлое матовое стекло. Тоже самое бываетъ съ людьми, страдающими катарректой, т. е. помутнѣніемъ хрусталика,—и здѣсь ощущеніе свѣта остается, но видѣніе образовъ невозможно. Съ другой стороны бываютъ случаи слѣпоты, гдѣ глазъ съ виду совершенно нормаленъ, прозрачныя среды его не представляютъ ни малѣйшей мутности, а между тѣмъ человѣкъ не только невидитъ образовъ, но даже неотличаетъ свѣта отъ тьмы. Таковъ напримѣръ случай слѣпоты, извѣстный въ общежитіи подъ именемъ темной воды. Здѣсь уничтоженіе зрительной способности зависитъ отъ пораженія котораго нибудь изъ отдѣловъ зрительнаго нерва—сѣтчатки, волоконъ, или центра.

Не ясно ли послѣ этаго, что условій для ощущенія свѣта два: 1) анатомо-физіологическая цѣлость всѣхъ отдѣловъ зрительнаго нерва и 2) большая или меньшая прозрачность средъ, наполняющихъ глазное яблоко, — прозрачность, дающая возможность свѣтовымъ лучамъ проникать внутрь глаза до начала зрительнаго нерва, т. е. до сѣтчатки?

Примѣры наши нетолько устанавливаютъ условія для перцепціи свѣта вообще, но содержатъ намекъ и на условіе видѣнія образовъ. Изъ нихъ видно въ самомъ дѣлѣ, что для этаго, сверхъ анатомо-физіологической цѣлости зрительнаго нерва, необходима совершенная прозрачность средъ, наполняющихъ глазное яблоко.

Но въ чемъ же заключается сущность этаго послѣдняго условія по отношенію къ видѣнію? Отвѣта искать конечно всего естественнѣе въ физическомъ отличіи прозрачныхъ и мутныхъ средъ, по отношенію къ движущемуся по нимъ свѣтовому лучу. Въ средахъ перваго рода свѣтъ двигается, как извѣстно, по разъ принятому направленію безъ уклоненій, а въ тѣлахъ полупрозрачныхъ или мутныхъ, онъ безпрерывно мѣняетъ его, встрѣчаясь постоянно съ частицами различной преломляемости; изъ прозрачныхъ средъ свѣтовые лучи выходятъ, такъ сказать, въ томъ же относительномъ положеніи, въ которомъ они находились до вхожденія въ среду, а изъ мутныхъ тѣлъ они выходятъ разсѣянными, т. е. разбросанными въ разныя стороны безъ опредѣленнаго порядка. На этомъ основаніи лучи, выходящіе изъ какого нибудь предмета, не теряютъ способности давать изображенія послѣдняго и послѣ перехожденія черезъ одну или нѣсколько прозрачныхъ средъ; наоборотъ, способность эта утрачивается, если среда, лежащая на пути, полупрозрачна.

Въ этомъ и заключается, какъ мы сейчасъ увидимъ, причина, почему для видѣнія образовъ нужна прозрачность глазныхъ средъ.

Условія видѣнія образовъ.

§ 16. Если вырѣзать глазъ у только что убитаго бѣлаго кролика (непремѣнно бѣлаго, потому что у такихъ кроликовъ сосудистая оболочка глаза не содержитъ чернаго пигмента) и поставить его въ темной комнатѣ роговой оболочкой передъ зажженной свѣчкой, то на задней поверхности глазнаго яблока, сквозь полупрозрачные покровы, просвѣчиваетъ уменьшенное и извращенное изображеніе свѣчки. Контуры образа, правда, несовсѣмъ рѣзки, но это зависитъ отъ того, что образъ лежитъ кпереди отъ бѣлковой и сосудистой оболочекъ. Стоитъ въ самомъ дѣлѣ осторожно вырѣзать кусочекъ той и другой на задней поверхности глазнаго яблока, и повтореніе прежняго опыта даетъ уже совершенно ясный и отчетливый образъ свѣчки. Послѣдній лежитъ на сѣтчатой оболочкѣ. Изображеніе свѣтящагося предмета на днѣ глаза можно видѣть и на живомъ человѣкѣ, но это возможно только на бѣлокурыхъ особахъ съ свѣтлоголубыми глазами, у которыхъ сосудистый слой бѣденъ чернымъ пигментомъ. Такія особы помѣщаются въ темную комнату и ихъ заставляютъ смотрѣть однимъ глазомъ какъ можно больше кнаружи; въ томъ же направленіи, но еще больше кнаружи, помѣщается въ одномъ уровнѣ съ глазомъ зажженная свѣчка; тогда внутре-глазный образъ послѣдней можно бываетъ различить черезъ часть бѣлковой оболочки, сосѣднюю съ носомъ *).

Послѣ этихъ опытовъ становится уже понятнымъ, почему для **ясн**аго видѣнія образовъ нужна прозрачность средъ, наполняющихъ глазное яблоко.—

Отъ большей или меньшей прозрачности ихъ зависитъ, съ одной стороны, большая или меньшая ясность внутреглаз-

*) Изображенія предметовъ въ глазѣ живаго человѣка видѣть можно лучше всего посредствомъ особеннаго инструмента, называемаго глазнымъ зеркаломъ. Объ устройствѣ его рѣчь будетъ ниже.

наго образа, а съ другой — большая или меньшая ясность видѣнія. Другими словами: **ясность видѣнія предмета стоитъ въ прямомъ отношеніи къ ясности его образа на днѣ глаза.**

Это есть первое условіе видѣнія предметовъ.

Такимъ образомъ глазное яблоко является въ зрительномъ актѣ прежде всего чисто оптическимъ снарядомъ, котораго функція заключается въ томъ, чтобы давать отъ видимыхъ предметовъ ясные изображенія на сѣтчаткѣ.

Изученіемъ этой функціи мы теперь и займемся.

Законы преломленія свѣта въ средахъ, разграниченныхъ центрированною системою сферическихъ поверхностей.

§ 17. Для выясненія задачи, лучше всего сравнить глазное яблоко съ какимъ нибудь общеизвѣстнымъ физическимъ инструментомъ, который тоже давалъ бы изображенія стоящихъ передъ нимъ предметовъ. Черезъ это очевидно сразу выясняется и путь и объемъ изученія глаза въ діоптрическомъ отношеніи.

Такимъ инструментомъ можетъ быть выбрана камера-обскура, съ одной двояко-выпуклой чечевицей, какъ предметнымъ стекломъ, и матовой пластинкой для воспринятія изображеній.

Такой инструментъ считается вполнѣ изученнымъ въ діоптрическомъ отношеніи, если: 1) можно построить ходъ всякаго свѣтоваго луча, падающаго на предметное стекло и незначительно уклоняющагося отъ оптической оси послѣдняго*) (этимъ очевидно дается возможность построить для всякаго предмета соотвѣтствующее изображеніе); 2) если извѣстны всѣ недостатки инструмента, ведущіе за собою не ясность изображенія въ какомъ бы то ни было отношеніи; и наконецъ 3) если извѣстенъ механизмъ, при посредствѣ котораго на матовой пластинкѣ аппарата получается ясное изображе-

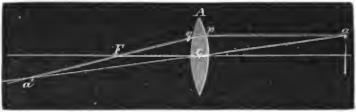
*) Извѣстно, что законы преломленія свѣта сферическими средами вообще имѣютъ силу только для случаевъ, когда падающіе лучи не значительно уклоняются отъ оптической оси преломляющей системы.

ніе предмета, не смотря на измѣненіе разстояній его отъ объектива.

Къ этому же должно стремиться и изученіе глаза.

Первая изъ означенныхъ цѣлей, т. е. умѣнье строить ходъ свѣтовыхъ лучей по преломляющимъ средамъ, дается чрезвычайно легко для такаго простаго случая, какъ камера, обскура съ одной двояко-выпуклой чечевицей. Для этаго нужно знать собственно только двѣ вещи: коэффиціентъ преломленія даннаго стекла и радіусы кривизны выпуклыхъ поверхностей чечевицы. Однако для болѣе легкаго построенія образовъ, выгодно знать, кромѣ того, положеніе нѣкоторыхъ постоянныхъ точекъ діоптрической системы, потому что при помощи ихъ построеніе это сводится въ половину на простое проведеніе прямыхъ линій. Такъ, если въ двояко-выпуклой чечевицѣ A (рис. 6) извѣстно положеніе ея оптическаго центра C

Рис. 6.



и главнаго фокуса F (точки схожденія лучей, падающихъ на чечевицу параллельно ея оптической оси), то образъ всякой точки предмета, наприм. образъ точки *a*, опредѣляется прямою линіею (*aC*), проведенною изъ данной точки черезъ центръ чечевицы и другою (*ap*), приведенною оттуда же параллельно оси; въ этомъ случаѣ нужно бываетъ только найти вычисленіемъ путь (*pg*) параллельнаго луча по толщѣ чечевицы, а за тѣмъ уже остается соединить точку (*g*) выхода его изъ стекла съ главнымъ фокусомъ прямой линіей;—

продолженіе ея до встрѣчи съ линіею *aCa'* даетъ положеніе образа.

Такъ же слѣдуетъ поступать конечно и съ глазомъ.

Но глазъ, въ смыслѣ діоптрическаго аппарата, устроенъ несравненно сложнѣе камеры-обскуры. Въ немъ свѣтовому лучу приходится проходить черезъ 4 прозрачныхъ среды различной преломляемости (прозрачная роговая оболочка, водянистая влага, хрусталикъ и стекловидное тѣло), тогда какъ въ разобранномъ нами физическомъ инструментѣ этихъ средъ только 2; кромѣ того, въ послѣднемъ среды по сю и по ту сторону чечевицы однородны (воздухъ), въ глазу же этаго нѣтъ — свѣтовой лучь идетъ въ него изъ воздуха, а преломляется въ послѣдній разъ въ стекловидномъ тѣлѣ, при выходѣ изъ хрусталика. Понятно слѣдовательно, что въ глазу ходъ преломляющагося луча долженъ опредѣляться большимъ числомъ оптическихъ постоянныхъ (такъ называются коэффиціенты преломленія, радіусы кривизны, постоянныя точки діоптрической системы и пр.), чѣмъ это было въ разобранномъ сочетаніи. Въ самомъ дѣлѣ для глаза нужно, строго говоря, опредѣленіе слѣдующихъ 11 постоянныхъ: коэффиціентовъ преломленія прозрачной роговой оболочки, водянистой влаги, хрусталика и стекловиднаго тѣла, радіусовъ кривизны передней и задней поверхности роговой оболочки, передней и задней поверхности хрусталика, толщины corneae и хрусталика и наконецъ разстоянія ихъ другъ отъ друга. И это еще подъ условіемъ, если принять, что каждая изъ прозрачныхъ средъ глаза, по всей своей толщинѣ, представляетъ однородную плотность, чего въ сущности нѣтъ: въ хрусталикѣ наприм. слои, по мѣрѣ приближенія къ центру, становятся плотнѣе и плотнѣе.

Руководствоваться этими данными, при построеніи въ глазу свѣтоваго изображенія, очевидно можно, но всякій согласится конечно, что это немного затруднительно. По

этому читатель легко пойметъ важность усилій упростить нашу задачу.

Средство къ этому дано математической физикой и заключается въ опредѣленіи постоянныхъ точекъ діоптрической системы, которыми легко опредѣляется ходъ всякаго свѣтоваго луча по произвольно большому числу преломляющихъ средъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга центрированными сферическими поверхностями, т. е. поверхностями, у которыхъ центры вращенія лежатъ въ одной прямой линіи, называемой оптической осью системы. Точки эти имѣютъ совершенно тотъ же смыслъ, что точки C и F въ разобранномъ выше примѣрѣ двояко-выпуклой чечевицы, и сохраняютъ свое значеніе только для лучей, которые въ каждую изъ преломляющихъ средъ вступаютъ подъ очень малыми углами съ оптическою осью. Такъ какъ кривыя поверхности глазныхъ средъ болѣе или менѣе приближаются къ сферическимъ и представляютъ въ тоже время центрированную систему, а съ другой стороны — свѣтовые образы разсматриваемыхъ предметовъ (на которые обращается вниманіе) строятся всегда лучами, мало отклоняющимися отъ оптической оси глаза, то понятно, что постоянныя точки могутъ быть перенесены и на глазъ.

Ихъ три пары: два фокуса, двѣ главныхъ точки и двѣ узловыхъ.

Первый фокусъ опредѣляется тѣмъ, что всякій лучь, проходящій черезъ него до преломленія, становится параллельнымъ оси послѣ преломленія.

Второй фокусъ опредѣляется тѣмъ, что черезъ него проходитъ всякій лучь, бывшій до преломленія параллельнымъ оси.

Вторая главная точка есть образъ первой, т. е. лучи, идущіе въ первой средѣ черезъ первую главную точку, идутъ послѣ окончательнаго преломленія черезъ вторую. Плоскости,

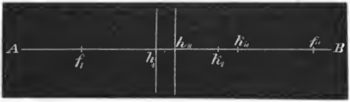
проведенныя черезъ обѣ точки перпендикулярно къ оптической оси, называются **главными плоскостями**. Вторая изъ нихъ есть оптическій образъ первой; притомъ образы въ обѣихъ плоскостяхъ одинаковой величины и одинаковаго направленія. Этимъ условіемъ опредѣляется положеніе обѣихъ главныхъ точекъ.

Вторая узловая точка есть образъ первой. Лучь, идущій въ первой средѣ черезъ первую точку, проходитъ послѣ преломленія черезъ вторую и удерживаетъ направленіе параллельное предъидущему.

Разстояніе первой главной точки отъ перваго фокуса называется **главнымъ фокуснымъ разстояніемъ**. Величина эта считается положительной, если 1-я главная точка лежитъ позади 1-го фокуса въ смыслѣ движенія свѣта.

Пусть AB есть оптическая ось системы и свѣтъ идетъ отъ A къ B; пусть $f_{,}$ будетъ 1-мъ, $f_{,,}$ 2-мъ фокусомъ; $h_{,}$ пер-

Рис. 7.



вой, $h_{,,}$ 2-й главной точкой; $k_{,}$ первой, $k_{,,}$ второй узловой точкой. Тогда $f_{,}$ $h_{,}$ будетъ первымъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ съ положительнымъ знакомъ; а $f_{,,}$ $h_{,,}$ вторымъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ и тоже съ положительнымъ знакомъ (здѣсь условіемъ для послѣдняго должно быть положеніе фокуса позади главной точки).

Разстояніе первой узловой точки отъ перваго фокуса равно второму главному фокусному разстоянію; разстояніе

отъ 2-й узловой точки 2-го фокуса равно 1-му главному фокусному разстоянію т. е.

$$f_{,} k_{,} = f_{,,} h_{,,} .$$
$$f_{,} h_{,} = f_{,,} k_{,,}$$

Отсюда слѣдуетъ, что взаимное разстояніе одноименныхъ главныхъ и узловыхъ точекъ равно разности между обоими главными фокусными разстояніями, т. е.

$$k_{,} h_{,} = k_{,,} h_{,,} = f_{,,} h_{,,} - f_{,} h_{,} .$$

Кромѣ того, взаимное разстояніе главныхъ точекъ равно взаимному разстоянію узловыхъ, т. е.

$$h_{,} h_{,,} = k_{,} k_{,,} .$$

Наконецъ главныя фокусныя разстоянія относятся между собою, какъ коэффиціенты преломленія первой и послѣдней среды:

$$\frac{f' h'}{n'} = \frac{f'' h''}{n''}$$

Если среды эти однородны, какъ въ случаѣ камеры обскуры и большинства оптическихъ инструментовъ, то $f_{,} h_{,}$ и $f_{,,} h_{,,}$ т. е. оба фокусныя разстоянія, становятся равными между собою, а главныя и узловыя точки сливаются между собою въ одну (въ приведенномъ выше случаѣ въ точку С).

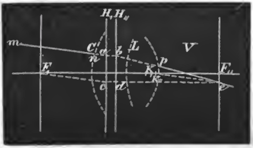
Плоскости, проведенныя черезъ фокусы перпендикулярно къ оси, называются **фокусными плоскостями**. Лучи, вышедшіе изъ первой фокусной плоскости, становятся послѣ преломленія параллельными между собою; но такъ какъ, согласно опредѣленію узловыхъ точекъ, лучь, направляющійся къ 1-й изъ нихъ, удерживаетъ по преломленіи направленіе, параллельное первоначальному, то очевидно всѣ лучи, выходящіе изъ свѣтящейся точки фокусной плоскости, должны по преломленіи сдѣлаться параллельными съ лучемъ, выходящимъ изъ 2-й узловой точки.

Лучи, идущіе параллельно между собою въ первой средѣ, соединяются въ одну точку 2-й фокусной плоскости; но такъ какъ тотъ изъ параллельныхъ лучей, который проходитъ черезъ 1-ю узловую точку, выходитъ изъ 2-й параллельно предъидущему направленію, то очевидно точка пересѣченія послѣдняго луча съ 2-ю фокусною плоскостью будетъ мѣстомъ соединенія всѣхъ параллельныхъ лучей, идущихъ въ первой средѣ.

Правилъ этихъ достаточно, чтобы по данному ходу луча въ первой средѣ опредѣлить путь его послѣ окончательнаго преломленія, или найти для всякой точки предмета соотвѣтствующее изображеніе.

Пусть *mn* (рис. 8) есть направленіе луча, падающаго на

Рис. 8.



прозрачную роговую оболочку *C*; требуется найти путь его по стекловидному тѣлу *V*.

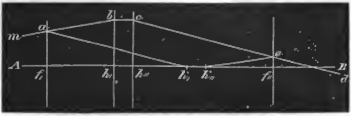
Для этой цѣли прямая *mn* продолжается до встрѣчи съ 1-ю главною плоскостью $H_{,}$ въ *a*; отсюда лучъ долженъ идти по *ab* перпендикулярно къ $H_{,}$ и $H_{,,}$, такъ какъ 2-ая главная плоскость есть оптическій образъ 1-й. Если теперь изъ 1-го фокуса $F_{,}$ провести $F_{,}c$ параллельно *mn*, то оба луча, какъ параллельные между собою, должны будутъ сойтись въ одной точкѣ 2-й фокусной плоскости. Съ другой стороны лучъ $F_{,}c$, какъ выходящій изъ фокуса, долженъ сдѣлаться

по преломленіи параллельнымъ оси, слѣдовательно изъ *c* онъ пойдетъ въ *d* по перпендикуляру къ H_{II}, а отсюда уже какъ линія *de* параллельно оси. *e* будетъ точкой встрѣчи лучей *mn* и $F_{I}c$ по преломленіи. Стало быть, соединивъ *e* съ *b* прямою, получается *pe*—направленіе искомаго луча.

Тужe задачу можно рѣшить и иначе.

Пусть *ab* (рис. 9) есть лучь въ первой средѣ, продолженный до встрѣчи съ 1-ю главною плоскостью; отсюда онъ

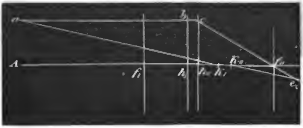
Рис. 9.



долженъ продолжаться по *bc*; но такъ какъ лучь *ab* выходитъ изъ точки фокусной плоскости, а всѣ такіе лучи по преломленіи должны идти параллельно лучу, идущему изъ данной точки въ 1-ю узловую, то понятно, что дальнѣйшій **ходъ луча *ab* будетъ данъ линіей *ce* параллельной линіи ak_{I}.**

Приведемъ также примѣръ построенія образа точки.

Рис. 10.



Пустъ *a* будетъ эта точка. Изъ нея проводится прямая ak_{I}, въ 1-ю узловую точку и другая *ab* параллельная

оси, до встрѣчи съ плоскостью $H_{\prime}$. Дальнѣйшій ходъ первой линіи будетъ данъ прямою $k_{\prime\prime}e$ параллельною съ $ak_{\prime}$; линія же ab пойдетъ въ c по перпендикуляру къ $H_{\prime\prime}$ и затѣмъ должна будетъ пройти черезъ второй фокусъ, какъ линія, бывшая въ первой средѣ параллельною оси. Искомая точка, очевидно будетъ лежать въ мѣстѣ пересѣченія линій $cf_{\prime\prime}e$ и $k_{\prime\prime}e$.

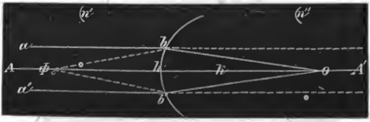
Въ интересѣ лицъ, которыя желали бы, можетъ быть, познакомиться вполнѣ съ значеніемъ и способами опредѣленія положенія діоптрическихъ постоянныхъ точекъ въ центрированной системѣ преломляющихъ средъ, я помѣщаю въ формѣ вставки развитіе этихъ вопросовъ, взятое мною изъ сочиненія Дондерса «die Anomalien d. Refract. u. Accomod. d. Aug., Wien 1866. Не желающіе такого знакомства могутъ пропустить все напечатанное мелкимъ шрифтомъ.

Дондерсъ опредѣляетъ положеніе и взаимныя отношенія оптическихъ точекъ для 3-хъ случаевъ: 1) для одной сферической преломляющей поверхности; 2) для двухъ въ формѣ двояковыпуклой чечевицы и 3) для сочетанія этихъ трехъ поверхностей въ центрированную систему—случай, соотвѣтствующій глазу.

1) Преломленіе одною сферическою поверхностью.

Пусть k (рис. 11) будетъ центромъ сферической поверхности h, на которую падаютъ параллельно оси AA' лучи ab и $a'b'$, выходящіе изъ

Рис. 11.



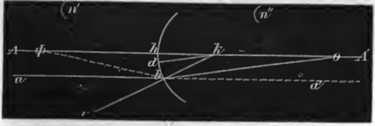
среды съ коэффиц. прел. n' и направляющіеся въ среду съ коэфф. n''. Если $n'' > n'$, то лучи по преломленіи на выпуклой поверхности сходятся приблизительно въ одной точкѣ ө на оси, которая называется заднимъ главнымъ фокусомъ.

Если, наоборотъ, лучи идутъ параллельно AA' по средѣ n'', то они преломляются уже на вогнутой поверхности, и оттого сходятся снова на оси въ точкѣ ф, называемой переднимъ главнымъ фокусомъ.

Опредѣлимъ теперь, въ какомъ отношеніи находятся отстоянія фокусныхъ точекъ отъ преломляющей поверхности — передняя и задняя главная фокусная длина — къ радіусу кривизны преломляющей поверхности, и разберемъ единственный простой случай, когда падающіе параллельные лучи очень близки къ оси.

Пусть ab есть (рис. 12) падающій параллельно оси лучъ; $b\theta$ — преломленный; $< abv = < bkh = \alpha$ уголъ паденія; $< \theta bk = \beta$ уголъ преломленія.

Рис. 12.



Если провести kd параллельно $b\theta$, то $< hkd = \alpha - \beta = \gamma$. Кромѣ того по малости дугъ hd и hl треугольники hkd и $h\theta b$ могутъ считаться прямоугольными при h и подобными другъ друга; тогда

$$hk : h\theta = \text{дуга } hd : \text{дугѣ } hb$$
$$r : F'' = \alpha - \beta : \alpha$$

Малыя дуги могутъ быть замѣнены синусами; слѣд.

$$r : F'' = \operatorname{Sin} \alpha - \operatorname{Sin} \beta : \operatorname{Sin} \alpha.$$

Но извѣстно, что основной законъ преломленія свѣта выражается уравненіемъ

$$n' \operatorname{Sin} \alpha = n'' \operatorname{Sin} \beta.$$

Подставляя отсюда величину для $\operatorname{Sin} \alpha = \frac{n'' \operatorname{Sin} \beta}{n'}$ въ предъидущее равенство, получимъ

$$r : F'' = n'' - n' : n''; \text{ или}$$
$$F'' = \frac{rn''}{n'' - n'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1a,$$

Соотвѣтствующее выраженіе для передняго фокуснаго разстоянія $h\varphi$ или F', находится очень просто слѣдующимъ образомъ.

Пока углы паденія очень малы и пропорціональны синусамъ, основ-

ныя діоптрическія формулы могутъ быть выражены въ нашемъ случаѣ такъ (уголъ hфb = аbф мы назовемъ для краткости γ'):

$$n'\,\alpha = n''\,\beta \text{ и}$$
$$n''\,\alpha = n'\,(\alpha + \gamma') \text{ или}$$
$$\alpha : \beta = n'' : n'$$
$$\alpha + \gamma' : \alpha = n'' : n'$$

Слѣдовательно—

$$\alpha + \gamma' : \alpha = \alpha : \beta. \text{ Отсюда—}$$
$$\alpha + \gamma' - \alpha : \alpha = \alpha - \beta : \beta \text{ или}$$
$$\gamma' : \gamma = \alpha : \beta = n'' : n'$$

Но по малости дуги hb ее можно принять за прямую перпендикулярную къ AA' въ точкѣ h; тогда изъ треуг. ϕbh и θbh (при равенствѣ угловъ γ и hθb) будетъ $\gamma' : \gamma = F'' : F'$

Слѣдовательно—

$$F' = F''\frac{n'}{n''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1b.$$

Такъ какъ $\quad F'' = \frac{rn''}{n''-n'}$, то

$$F' = \frac{rn'}{n''-n'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1c$$

Отсюда $\quad F'' - F' = r$; или $F'' = F' + r \ldots\ldots$ 1d

Такимъ образомъ для одной преломляющей сферической поверхности найдено 4 оптическихъ точки: передній и задній фокусы, центръ преломляющей поверхности и точка пересѣченія послѣдней съ осью.

Если величину $k\phi$ обозначимъ буквой G', а $k\theta = G''$; то получимъ еще

$$G'' = F'' - r = F' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2a$$
$$G' = F' + r = F'' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2b$$
$$\frac{G''}{G'} = \frac{F'}{F''} = \frac{n'}{n''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2c$$
$$G' = G'' + r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2d$$

Наконецъ, если n' принять $= 1$, то n'' будетъ представлять коэффиціентъ преломленія относительно воздуха и тогда формулы 1a и 1c превращаются въ

$$F'' = \frac{rn''}{n''-1}; \quad F' = \frac{r}{n''-1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2e$$

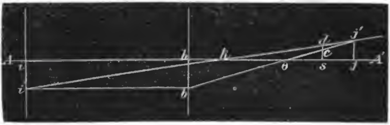
Сопряженные фокусы и отношеніе между величиною предмета и величиною образа.

Дано: найти образъ свѣтящейся точки i' (рис. 13)

Изъ i' проведемъ прямую ikj' черезъ центръ прел. пов.; этотъ лучь не переломится. Проведемъ кромѣ того изъ i' лучь $i'b$ параллельно

оси; этотъ по преломленіи пойдетъ черезъ главн. задн. фокусъ θ и встрѣтится за нимъ съ прямою *ikj'* въ точкѣ j'. Послѣдняя и будетъ искомымъ образомъ, потому что оптическое изображеніе точки есть всегда точка.

Рис. 13.



Если кромѣ того изъ *i'* опущенъ перпендикуляръ на ось *AA'*, то образомъ *ii'* будетъ прямая jj', тоже перпендикулярная къ оси.

Для доказательства послѣдняго перерѣжемъ преломленные лучи въ какомъ нибудь мѣстѣ прямою *scd* перпендикулярною къ оптической оси. Черезъ это получатся двѣ пары подобныхъ треугольниковъ *θhb* и *θsc*, *kii'* и *ksd*. Изъ нихъ

$$\theta h : hb = \theta s : sc \text{ и}$$
$$ki : hb = ks : sd \text{ или}$$
$$sc = \frac{hb \cdot \theta s}{\theta h}$$
$$sd = \frac{hb \cdot ks}{ki}$$

Но для случая схожденія преломленныхъ лучей въ одну точку нужно, чтобы *sc* и *sd* были равны между собою, а это возможно лишь при перенесеніи линіи *scd* въ jj'. Слѣдовательно условіемъ для схожденія преломленныхъ лучей будетъ

$$\frac{\theta j}{\theta h} = \frac{kj}{ki} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (A)$$

Это условіе очевидно остается неизмѣннымъ для любой величины *hb* или *ii'*; другими словами, каждая точка предмета *ii'* имѣетъ свой образъ на прямой jj'.

Опредѣлимъ теперь отношенія между сопряженными и главными фокусными разстояніями съ одной стороны и между *ii'* и jj' съ другой.

Пусть сопряженныя фокусныя разстоянія hi и bj будутъ $= f'$ и f'' $ki = g'$, $kj = g''$.

Тогда вмѣсто равенства (A), въ связи съ формулами 2a и 2b, можно написать

$$g'' - G'' : G' = g'' : g'$$

отсюда $$g' = \frac{G'g''}{g'' - G''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a$$

или $$g'g'' - g'G'' = G'g'' \quad \text{также}$$

$$g'g'' - G'g'' = g'G''$$

$$g''(g' - G') = g'G''$$

$$g'' = \frac{g'G''}{g' - G'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3b$$

Уравненія 3a и 3b могутъ быть очевидно написаны еще такъ:

$$\frac{G'}{g'} + \frac{G''}{g''} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (M)$$

Вмѣсто равенства (A) можно написать

$$f'' - F'' : F'' = F' + f'' - F'' : f' + F'' - F'$$

отсюда

$$f'f'' - f'F' + f'' - F'' F'' - f'' F' + F' F'' = f'' F'' - F'' - F'' + F' F''$$

или $$f'f'' - f F'' - f'F'' = 0$$

отсюда $$f'(t'' - F'') = f'' F' \text{ и } f''(f' - F') = f'F''$$

или $$f' = \frac{f''F'}{f'' - F''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3c$$

и $$f'' = \frac{f'F''}{f' - F'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3d$$

Помножая оба уравненія другъ на друга и произведя сокращенія. получимъ

$$\frac{F''}{f'' - F''} = \frac{f' - F'}{F'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3e$$

Формулы 3c и 3d могутъ быть написаны еще такъ:

$$\frac{F'}{f'} + \frac{F''}{f''} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (N)$$

Формулы M и N чрезвычайно наглядно показываютъ постоянство отношенія между сопряженными и главными фокусными длинами, будутъ ли тѣ и другія величины считаться отъ h или k.

Изъ подобія треугольниковъ iki' и jkj' имѣемъ

$$jj' : ii' = kj : ki = g'' : g' \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4a;$$

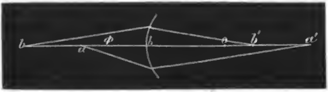
а изъ треугольниковъ hbθ и jj'θ

$$jj' : ii' = \theta j : \theta h = f'' - F'' : F'' \quad \ldots\ldots \quad 4b.$$

Отношеніе между сопряженными и главными фокусными длинами, выраженное формулами (M) и (N), можетъ быть доказано и для случая, если точка, отъ которой берутся обѣ пары величинъ (т. е. *h* или *k*) не одна, какъ это было до сихъ поръ, а двѣ, лишь бы онѣ были сопряженными образами.

Если наприм. (рис. 14) *a'* есть образъ *a*, *b'* — образъ *b*, ф первый главный фокусъ, θ второй главный фокусъ, то за исходныя точки,

Рис. 14.



отъ которыхъ берутся сопряженныя и главныя фокусныя длины, можно взять точки *a* и *a'*. Тогда, очевидно, будетъ

$$\frac{a\phi}{ba} + \frac{a'\theta}{a'b'} = 1.$$

Для доказательства положимъ: $ah = f_1$; $a'h = f_2$; $bh = \varphi_1$; $b'h = \varphi_2$; $\phi h = F_1$; $\theta h = F_2$. Точка *a* лежитъ относительно *b* такъ какъ h (рис. 13) относительно *i*, слѣдовательно величина эта будетъ положительная и пусть она равна h_1. Но относительно ф точка *a* лежитъ не такъ какъ *h* (рис. 13) относительно 1-го фокуса, слѣдовательно ф*a* должно имѣть отрицательный знакъ; пусть эта величина $= -H_1$. Послѣ этого понятно, что $a'b'$ должно быть выражено какъ $-h_2$; а $a'\theta = -H_2$.

На основаніи формулы (N) имѣемъ

$$\alpha)\quad \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$$

$$\beta)\quad \frac{F_1}{\varphi_1} + \frac{F_2}{\varphi_2} = 1.$$

Но $\varphi_1 = bh = h_1 + f_1$; а $\varphi_2 = b'h = f_2 - (-h_2)$;

слѣдовательно формула (β) переходитъ въ

$$\frac{F_1}{h_1 + f_1} + \frac{F_2}{h_2 + f_2} = 1 \quad \text{или}$$

$$F_1 (h_2 + f_2) + F_2 (h_1 + f_1) = (h_1 + f_1)(h_2 + f_2)$$

Вычитая отсюда уравненіе, выведенное изъ α,

$$F_1 f_2 + F_2 f_1 = f_1 f_2,$$

получимъ

$$F_1 h_2 + F_2 h_1 = h_1 h_2 + h_1 f_2 + h_2 f_1 \quad \text{или}$$

$$(F_1 - f_1)\, h_2 + (F_2 - f_2)\, h_1 = h_1 h_2; \quad \text{но}$$

$$F_1 - f_1 = H_1;\; F_2 - f_2 = H_2; \quad \text{слѣдов.}$$

$$H_1 h_2 + H_2 h_1 = h_1 h_2, \quad \text{или}$$

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(P)}$$

что и требовалось доказать.

Если изъ глаза удаленъ хрусталикъ, то первый подходитъ въ діоптрическомъ отношеніи именно подъ разобранный случай; тогда по даннымъ величинамъ радіуса роговой оболочки (r) и коэффиціента преломленія прозрачныхъ средъ относительно воздуха, т. е. n'', (обѣ величины, какъ извѣстно, опредѣляются прямыми опытами) можно найти всѣ 4 оптическія точки такой системы. Въ самомъ дѣлѣ здѣсь r = 8 мм., а n'' = 1,3376; слѣдоват. $F'' = \frac{8 \times 1,3376}{1,3376 - 1} = \frac{10,7008}{0,3376} = 31,692$ мм.

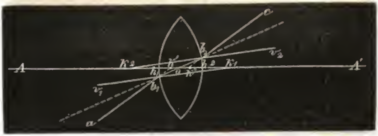
$$F' = \frac{8}{1,3376 - 1} = \frac{8}{0,3376} = 23,692 \text{ мм.}$$

2) Преломленіе двояковыпуклою чечевицею.

а) *Узловыя точки, ихъ значеніе и способъ опредѣленія.*

Для каждой чечевицы существуютъ двѣ такія точки k' и k'', что лучь, идущій до 1-го преломленія къ 1-й точкѣ, проходитъ послѣ преломленія черезъ 2-ю и идетъ изъ нея паралельно первоначальному направленію. Напримѣръ лучь ab, (рис. 15), направляющійся до преломленія въ 1-ю узловую точку k', идетъ по преломленіи черезъ k'' въ видѣ прямой $k''c$ параллельной ab_1.

Рис. 15.



Опредѣлимъ положеніе такихъ точекъ построеніемъ.

Пусть k_1 будетъ центромъ передней поверхности h_1 чечевицы: а k_2—центромъ задней h_2. Проведемъ изъ k_2 какую нибудь нормальную ($k_2 v_2$) къ поверхности h_2 и параллельно ей прямую $k_1 v_1$ нормальную къ поверхности h_1. Положимъ далѣе, что по чечевицѣ идетъ лучь $b_1 b_2$. Послѣдній образуетъ въ точкахъ b_1 и b_2 съ параллельными другъ другу нормальными $k_1 v_1$ и $k_2 v_2$ равные углы; эти же углы суть углы паденія луча на преломляющія поверхности; стало быть и углы преломленія его по обѣимъ сторонамъ чечевицы должны быть равны между собою. Другими словами $b_2 c$ должна быть параллельна ab_1. Послѣ этого ясно, что продолженіе обоихъ лучей въ чечевицу до встрѣчи съ оптической осью дастъ искомыя узловыя точки k' и k''.

Чтобы вычислить положеніе точекъ k' и k'', опредѣлимъ сначала положеніе точки o, въ которой пересѣкается лучь $b_1 b_2$ съ осью.

Изъ подобія треугольниковъ $k_1 b_1 h_1$ и $k_2 b_2 h_2$

$$k_1 h_1 : h_1 b_1 = k_2 b_2 : h_2 b_2 \quad \text{или}$$
$$r_1 : h_1 b_1' = r_2 : h_2 b_2$$

Кромѣ того треугольники $h_1 b_1 o$ и $h_2 b_2 o$ тоже подобны; изъ нихъ

$$h_1 b_1 : h_1 o = h_2 b_2 : h_2 o,$$

слѣдовательно $$r_1 : h_1 o = r_2 : h_2 o$$

Т. е. отстоянія o отъ h_1 и h_2 пропорціональны радіусамъ соотвѣтствующихъ поверхностей чечевицы. Если стало быть эти радіусы равны, то o лежитъ посрединѣ $h_1 h_2$.

Кромѣ того въ двояко выпуклой чечевицѣ, окруженной съ обѣихъ сторонъ средами одинаковой преломляемости, главныя фокусныя разстоянія преломляющихъ поверхностей, разсматриваемыхъ отдѣльно другъ отъ друга, пропорціональны радіусамъ послѣднихъ, слѣдовательно.

$$h_1 o : h_2 o = F_1 : F_2.$$

Съ другой стороны пропорцію $k_1 b_1 : h_1 o = k_2 b_2 : h_2 o$ можно написать такъ: $k_1 b_1 - h_1 o : h_1 o = k_2 b_2 - h_2 o : h_2 o$

Слѣдовательно $\overline{k_1 o} : h_1 o = \overline{k_2 o} : h_2 o = F_1 : F_2$

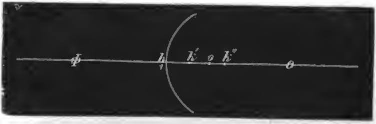
Понятно далѣе, что $k_1 o : k_2 o = G_1 : G_2$.

т. е. для отысканія точки o нужно раздѣлить пространство межъ центрами преломляющихъ поверхностей на части, пропорціональныя главнымъ фокуснымъ разстояніямъ послѣднихъ, считая эти длины отъ h_1 и h_2 или отъ k_1 и k_2.

Это отношеніе имѣетъ мѣсто и для случая, если среды, окружающія чечевицу, неодинаковой преломляемости.

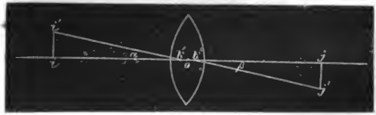
Зная положеніе o, можно уже легко вычислить положеніе $k_/$ и $k_{//}$.— Изъ рис. 15 легко замѣтить, что всякій свѣтовой лучь, проходящій черезъ o, при выходѣ своемъ изъ чечевицы принимаетъ по обѣ стороны такое направленіе, что продолженія его назадъ, внутрь чечевицы, падаютъ въ соотвѣтствующія узловыя точки; поэтому послѣднія будутъ очевидно мнимыми образами o [если бы, въ самомъ дѣлѣ, помѣстить въ o свѣтящуюся точку и смотрѣть на нее черезъ поверхность h_1, то она казалась бы перемѣщенною въ $k_/$; а при смотрѣніи черезъ h_2 — въ $k_{//}$]. По этому обѣ пары точекъ $k_/$ и o, $k_{//}$ и o могутъ быть разсматриваемы, какъ сопряженные фокусы относительно преломляющихъ поверхностей h_1 и h_2, а черезъ это, при данномъ положеніи o, $k_/$ и $k_{//}$ опредѣляются изъ формулы 3с. Наприм., если для поверхности h_1 (рис. 16) Ф будетъ переднимъ главнымъ фокусомъ, а О — заднимъ; $h_1 Ф = F'$; $h_1 O = F''$; $h_1 o = f''$; и $h_1 k' = f'$; то $f' = \frac{F' f''}{F'' - f''}$ (здѣсь ($f'' - F''$) должно перейти въ $F'' - f''$, потому что o лежитъ съ своимъ образомъ k' по одну сторону отъ h_1).

Рис. 16.



Знаніе положенія узловыхъ точекъ значительно упрощаетъ построеніе образа, даваемаго чечевицей; кромѣ того черезъ ихъ посредство весьма легко находится отношеніе между величинами свѣтящихся предметовъ и ихъ образовъ. И то и другое ясно видно изъ приложеннаго рисунка (рис. 17), въ которомъ ii' : jj' = io : jo.

Рис. 17.



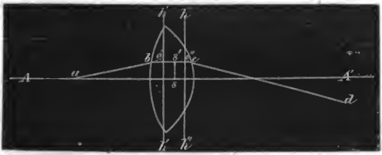
Для очень тонкихъ и плоскихъ чечевицъ вмѣсто двухъ узловыхъ точекъ можно безъ погрѣшности брать при построеніи образа лежащую посрединѣ ихъ точку *o* — оптическій центръ чечевицы. Во всѣхъ же прочихъ случаяхъ это не позволительно. При толстой чечевицѣ можно еще допустить слѣдующее упрощеніе: когда свѣтящійся предметъ лежитъ очень далеко отъ чечевицы, въ сравненіи съ отстояніемъ отъ нея его образа, то вмѣсто $k_{/}$ и $k_{//}$ можно брать одно $k_{//}$. При обратномъ условіи, т. е. когда образъ лежитъ отъ чечевицы значительно дальше предмета, можно оставлять при построеніи одно $k_{/}$.

b) *Главныя плоскости и точки; способы ихъ опредѣленія.*

На рис. 18 представлено условіе, которому должны удовлетворять двѣ главныя плоскости h'h' и h''h'' двояко-выпуклой чечевицы: точки ихъ пересѣченія *e'* и *e''*, съ продолженною до встрѣчи съ ними любою парою падающаго и преломленнаго луча (*ab* и *cd*) должны стоять на одинаковой высотѣ надъ оптической осью AA'; другими словами, обѣ плоскости должны быть образами другъ друга, равными по величинѣ и одинаково расположенными относительно оси. Точки пересѣченія ихъ съ послѣднею суть главныя точки. Отъ первой главной точки счи-

тается обыкновенно переднее главное фокусное разстояніе, а отъ 2-й заднее.

Рис. 18.

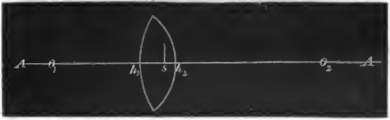


Чтобы найти главныя плоскости во всякой системѣ преломляющихъ средъ, а слѣдовательно и въ чечевицѣ, нужно опредѣлить въ ней положеніе такого предмета, который давалъ бы въ обѣ стороны равные и подобные другъ другу образы; въ мѣстахъ послѣднихъ очевидно должны лежать искомыя плоскости.

Для двояко-выпуклой чечевицы такой предметъ долженъ лежать конечно въ промежуткѣ между обѣими преломляющими поверхностями; настоящее же его положеніе опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Если каждую изъ поверхностей h_1 и h_2 (рис. 19) разсматривать отдѣльно другъ отъ друга и принять $h_2 O_2$ за F_2 — главн. фок. длину

Рис. 19.



поверхн. h_2, а $h_1 O_1$ за F_1 — соотв. велич. поверхн. h_1; наконецъ s за искомую точку; то, по условію, вертикальная плоскость въ послѣдней будетъ служить образомъ для обѣихъ главныхъ плоскостей; слѣдовательно величины $sh_2 = f_2$ и $sh_1 = f_1$ будутъ соотвѣтствовать по отношенію къ h_2 и h_1 величинѣ f'' въ формулѣ (4b); и тогда на основаніи этой формулы

$$jj' : ii' = F_2 - f_2 : F_2 \text{ и}$$
$$jj' : ii' = F_1 - f_1 : F_1$$

Но образы должны быть по условію равны между собою, слѣдоват.

$$F_2 : f_2 = F_1 : f_1;$$

т. е. **толщина чечевицы $h_1 h_2$ должна быть раздѣлена въ точкѣ *s* на части, пропорціональныя соотвѣтствующимъ главнымъ фокуснымъ разстояніямъ.**

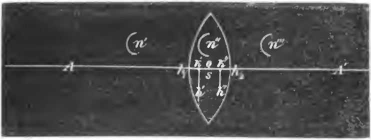
Теперь же, когда опредѣлена точка *s*, положеніе ея образовъ дается формулой (3c) для сопряженныхъ фокусныхъ разстояній: $f' = \frac{f''F'}{f'' - F''}$.

Отношенія между главными и узловыми точками.

Если чечевица окружена съ обѣихъ сторонъ средами одинаковой преломляемости, то точки *o* и *s* совпадаютъ другъ съ другомъ, а слѣдовательно *k'* съ *h'* и *k''* съ *h''*.

Если среда передъ чечевицей (n') и лежащая за нею (n''') (рис. 20) разной преломляемости, то такого совпаденія не бываетъ. Когда напр.,

Рис. 20.



при неизмѣняемости *n'* и *n''* (т. е. преломляемости первой среды и самой чечевицы), $\frac{n''}{n'''}$ становится меньше и меньше, то заднее главн. фок. разст. пов. h_2 удлиняется, и точка *s* придвигается слѣдовательно больше и больше къ h_1, а *o* наоборотъ удаляется отъ h_1. Когда наконецъ n''' сдѣлается = n'', то чечевица превращается въ одну сферическую преломляющую поверхность и *s* передвигается въ h_1, а *o* въ центръ преломляющей поверхности.

c) *Главные фокусы чечевицы.*

Для опредѣленія ихъ должны быть даны: толщина чечевицы и обѣ пары главныхъ фокусныхъ разстояній преломляющихъ поверхностей.

Пусть (рис. 21) Φ' и Φ'' будутъ главными фокусами h_1; O' и O'' — гл. фок. h_2; пусть далѣе $h_1 \Phi' = F_1$; $h_1 \Phi'' = F_2$; $h_2 O' = F'$; $h_2 O'' = F''$. Послѣднія четыре величины находятся изъ формулъ *Ia* и *Ib*.

Лучи, падающіе на пов. h_1 параллельно оси, направляются отсюда въ Φ''; подойдя къ поверхности h_2, они имѣютъ фокусное разстояніе $F_2 - h_1 h_2$ (потому что здѣсь разбираются лишь лучи, очень близкіе отъ оси) и снова преломляются поверхностью, имѣющею фок. разст.

F'' и F'. Стало быть теперь $h_2\Theta$ (если Θ обозначаетъ искомый задній фокусъ чечевицы) опредѣляется, какъ сопряженн. фок. разст. относительно $F_2 - h_1 h_2$ по формулѣ 3d.

Рис. 21.



Также опредѣляется, но въ обратномъ порядкѣ, и $h_1 \Phi$. Когда же $h_2\Theta$ и $h_1\Phi$ извѣстны, то черезъ приложеніе къ 1-ой величинѣ $h''h_2$, а ко второй $h'h_1$, получимъ

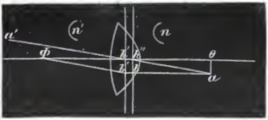
$h_2\Theta + h''h_2$ = задн. гл фок. длинѣ чечевицы

$h_1\Phi + h'h_1$ = передн. гл. фок. длинѣ чечевицы.

Если среды по обѣ стороны чечевицы имѣютъ равную преломляемость, то оба главныя фокусныя разстоянія чечевицы, т. е. отстоянія главн. фок. отъ соотвѣтст. гл точекъ, равны между собою.

Для доказательства (рис. 22) проведемъ изъ точки a, лежащей въ задн. главн. фокусн. плоск., одинъ лучъ ah'' къ 2-й гл. точкѣ, а другой ab параллельно оси. Первый пойдетъ по средѣ n' такимъ образомъ, что продолженіе его назадъ въ чечевицу, должно пройти черезъ h', а второй, дойдя до плоскости h'', долженъ идти перпендикулярно къ h' и за тѣмъ пройти въ средѣ n' черезъ передній главный фокусъ, такъ какъ въ n'' онъ идетъ параллельно оси. Такъ какъ притомъ ab и ah'' выходятъ изъ фокусной плоскости, то въ n' они должны быть параллельны другъ другу. Слѣдовательно линія $\Phi b'$ параллельна ah''.

Рис. 22.



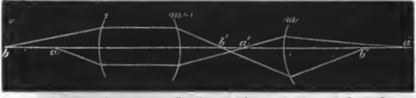
Отсюда же очевидно слѣдуетъ, что треуг. $\phi b'h$ = треуг. abh'' = треуг. $\Theta ah''$; стало быть $h''\Theta = h'\phi$.

Чтобы вывести для чечевицы отношеніе между сопряженными и главными фокусными длинами, удобнѣе всего поступить слѣдующимъ образомъ.

Мы докажемъ, что если отношеніе, выраженное формулою (Г), имѣетъ мѣсто для произвольно большаго числа центрированныхъ преломляющихъ средъ, напр. для $(m-1)$ поверхностей, то оно имѣетъ мѣсто и для числа средъ одною больше, т. е. для m поверхностей. Черезъ это очевидно будетъ доказано, что упомянутое отношеніе приложимо къ системѣ 2, 3, 4. . . . . m преломляющихъ поверхностей, такъ какъ для одной оно уже доказано.

На рис. 23, 1, $(m-1)$ и m обозначаютъ первую, предпослѣднюю и послѣднюю преломляющія поверхности; a' есть образъ a, образуемый

Рис. 23.



системою $m-1$ поверхностей; a'' есть образъ a', образуемый послѣднею поверхностью; b, b' и b'' стоятъ въ такомъ же отношеніи другъ къ другу. Если обозначить ab черезъ h_1, $a'b'$ черезъ h_m, $a''b''$ черезъ h_{m+1}; отстоянія обоихъ главныхъ фокусовъ системы $(m-1)$ поверхностей отъ a и a' черезъ L_1 и L_2; соотвѣтствующія величины системы m поверхностей, т. е. отстоянія ея главныхъ фокусовъ отъ a и a'' черезъ Π_1 и Π_2; наконецъ отстоянія главныхъ фокусовъ послѣдней преломляющей поверхности отъ a' и a'' черезъ M_1 и M_2; — то, на основаніи принятаго нами плана доказательства, допустимъ, что

$$\frac{L_1}{h_1}+\frac{L_2}{h_m}=1;$$ но для m-ой поверхности, на основаніи формулы (Г) $$\frac{M_1}{h_m}+\frac{M_2}{h_{m+1}}=1.$$

Если первое уравненіе раздѣлить на L_2, а второе на M_1 и вычесть послѣднее изъ перваго, то получимъ

$$\frac{L_1}{L_2}\cdot\frac{1}{h_1}-\frac{M_2}{M_1}\cdot\frac{1}{h_{m+1}}=\frac{1}{L_2}-\frac{1}{M_1}$$ или

$$\frac{L_1 M_1}{M_1-L_2}\cdot\frac{1}{h_1}-\frac{L_2 M_2}{M_1-L_2}\cdot\frac{1}{h_{m+1}}=1 \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ (\gamma)$$

Если принять $h_1=\infty$ (т. е. удалить b отъ a на безконечность), то $h_{m+1}=\Pi_2$ (потому что b'' будетъ тогда лежать въ заднемъ фокусѣ системы m поверхн.); тогда послѣдняя формула превращается въ

$$-\frac{L_2 M_2}{M_1-L_2}\cdot\frac{1}{\Pi_2}=1$$

Отсюда $$-\Pi_2=\frac{L_2 M_2}{M_1-L_2}$$

Если же $h_{m+1} = \infty$, то $h_1 = H_1$ и тогда формула (v) превращается въ

$$\frac{L_1 M_1}{M_1 - L_2} \cdot \frac{1}{H_1} = 1$$

отсюда
$$H_1 = \frac{L_1 M_1}{M_1 - L_2}.$$

Подставляя обѣ найденныя величины въ формулу (v), получимъ

$$\frac{H_1}{h_1} - \left(-\frac{H_2}{h_{m+1}}\right) = 1 \text{ или}$$

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_{m+1}} = 1 \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; (Q)$$

т. е. если отношеніе между сопряженными и главными фокусными длинами, выраженное формулою (P), имѣетъ мѣсто для системы (m — 1) поверхностей, то оно сохраняетъ значеніе и для *m* поверхностей.

Въ приложеніи къ чечевицѣ отношеніе это принимаетъ слѣдующую форму.

Здѣсь точками, отъ которыхъ берутся какъ сопряженныя такъ и фокусныя длины (т. е. точками соотвѣтствующими *a* и *a'* или *a* и *a''*), могутъ быть взяты главныя точки, такъ какъ онѣ суть образы одна другой, и потому формула Q превращается въ

$\frac{F}{f_1} + \frac{F}{f_2} = 1$ (въ чечевицѣ обѣ фокусныя длины равны между собою, слѣдовательно $F_1 = F_2$);

$$\text{или въ } \frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (R).$$

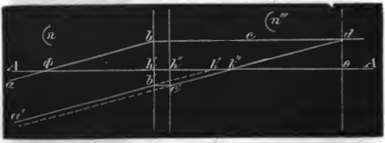
ВЗАИМНЫЯ ОТНОШЕНІЯ ВЪ ПОЛОЖЕНІИ ГЛАВНЫХЪ, УЗЛОВЫХЪ И ГЛАВНЫХЪ ФОКУСНЫХЪ ТОЧЕКЪ.

Во всякой сложной діоптрической системѣ существуетъ постоянное отношеніе во взаимномъ положеніи главныхъ, узловыхъ и главныхъ фокусныхъ точекъ; такъ что при данномъ положеніи послѣднихъ можно по двумъ главнымъ точкамъ найти обѣ узловыя и на оборотъ.

Если въ самомъ дѣлѣ извѣстно положеніе φ и θ, *h'* и *h''* (рис. 24), то лучь *ab*, проходящій въ средѣ n черезъ φ, долженъ по преломленіи въ *b* идти въ n''' параллельно оси. Съ другой стороны всякій лучь въ средѣ *n* параллельный *ab*, долженъ встрѣтиться съ лучемъ *bcd* въ задней фокусной плоскости. Наоборотъ всякій лучь, выходящій изъ задней фокусной плоскости и идущій въ средѣ *n'''* параллельно *ab*, долженъ удержать параллельное *ab* направленіе в въ средѣ *n*. Стало быть лучь *dc'*, проведенный къ плоскости *h''* параллельно *ab*, долженъ пойти сначала

по направленію $c'b'$ (соотвѣтственныя точки главныхъ плоскостей суть образы одна другой), а потомъ въ средѣ n сдѣлаться параллельнымъ ab, т. е. пойти по $b'a'$. Продолживъ теперь лучъ dc' въ среду n, а лучъ $a'b'$ въ среду n''', оказывается, что $a'b'$ направляется въ k', а

Рис. 24.



продолженіе его выходитъ изъ k'' параллельно предъидущему. Явно, что k' и k'' суть узловыя точки.

Треугольникъ $\phi b h'$ подобенъ и равенъ треугольнику $k''d\theta$, слѣдовательно

$$k''\theta = h'\phi \text{ или } G'' = F' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 5a$$

Кромѣ того $k'k''b'c'$ есть параллелограммъ, а $h'h''b'c'$ прямоугольникъ; слѣдовательно

$$h'h'' = b'c' = k'k'' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 5b$$

Изъ только что доказанныхъ уравненій слѣдуетъ далѣе, что

$$h'k' = h''k'';$$

но такъ какъ $k'\phi = h'k' + h'\phi$ и

$$h''\theta = h''k'' + k''\theta,$$

то $k'\phi = h''\theta$, или $G' = F''$ 5c

Выведемъ теперь для одной сферической преломл. поверхн. отношеніе между величиною образа и величиною расхожденія лучей, независимое ни отъ положенія ни отъ величины фокуснаго разстоянія преломляющей поверхности.

Даны (рис. 25) h преломл. сферическ. поверхн.; i свѣтящаяся точка, j — ея образъ; $ih = f$; $hj = f'$. Для маленькаго угла α, hb можно считать прямою перпендикулярною къ оси. При послѣднемъ

условіи величины угловъ α и α' будутъ обратно пропорціональны h и hj; слѣдовательно

$$\alpha . f' = \alpha' . f'' \dots\dots\dots S.$$

Но изъ форм. 1b и 4b

$$\frac{F''}{F'} = \frac{n''}{n'} \text{ и } \frac{jj'}{ii'} = \frac{f' - F''}{F''};$$

помножая послѣднія два уравненія, получимъ

$$\frac{jj'}{ii'} \cdot \frac{n''}{n'} = \frac{F''}{F'} \cdot \frac{f' - F''}{F''} = \frac{f' - F''}{F'}$$

Съ другой стороны изъ формулы (3 d.) мы имѣемъ

$$\frac{1}{f''} = \frac{f' - F'}{f' F''}$$

а изъ формулы (3 e)

$$\frac{f' - F'}{F'} = \frac{F''}{f'' - F''}$$

слѣдовательно $\frac{F'}{(f'' - F'') f'} = \frac{1}{f''}$

или $f'' = \frac{f' (f' - F'')}{F'}$

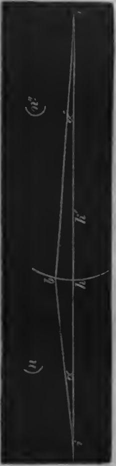
отсюда $\frac{f''}{f'} = \frac{f'' - F''}{F'}$

поэтому $\frac{jj'}{ii'} \frac{n''}{n'} = \frac{f''}{f'}$

Подставляя величину $\frac{f''}{f'}$ въ уравненіе S, получимъ $ii' n' \alpha = jj' n'' \alpha'$ ……5d.

Это и есть искомое уравненіе.

Рис. 25.



Во всякой діоптрической системѣ, какъ бы она сложна ни была, главныя фокусныя разстоянія пропорціональны коэффиціентамъ преломленія первой и послѣдней преломляющей среды.

Рис. 26.



Для доказательства представимъ себѣ сложную діоптрическую систему, въ которой величина предмета, $ii' = B$, равна величинѣ его образа $jj' = \beta$ (рис. 26). Пусть далѣе k' и k'' суть узловыя точки системы Тогда очевидно ik' будетъ равна и параллельна $k''j'$. Если наконецъ h' и h'' будутъ главными точками, то $h'h'' = k'k''$.

Всѣ лучи, выходящіе изъ i', должны сходится въ j', слѣдовательно и лучь $i'b$ параллельный оси долженъ направляться въ туже точку. Но такой лучь долженъ въ тоже время пройти черезъ 2-й главный фокусъ системы; слѣдовательно θ и будетъ послѣднею точкою.

Треуг. $b\theta h''$ и $j\theta j'$ равны между собою, слѣдовательно

$$h''\theta = \theta j'\text{; откуда } F'' = \tfrac{1}{2} f''.$$

На основаніи такихъ же разсужденій

$$F' = \tfrac{1}{2} f'.$$

Обратимся теперь къ лучу ih'. По смыслу главныхъ точекъ путь его по окончательномъ преломленіи долженъ быть $h''j'$. Стало быть этотъ лучь въ первой средѣ, до преломленія, образуетъ съ осью уголъ $i'h'i = \alpha$; а послѣ окончательнаго преломленія — уголъ $jh''j' = \alpha_m$.

Но при малости этихъ угловъ (принимая $h'i' = h'i = f'$, $h''j' = h''j = f''$ и величины ii' и jj' за дуги соотвѣтствующихъ угловъ), величины ихъ обратно пропорціональны $h'i$ и $h''j$;

$$\text{слѣдовательно } \frac{\alpha}{\alpha_m} = \frac{f''}{f'}$$

$$\text{также } \frac{\alpha}{\alpha_m} = \frac{F''}{F'}$$

Положимъ теперь, что лучь $i'h'$ на пути по промежуточнымъ средамъ образуетъ съ осью послѣдовательно углы α', α'', α'''....... Такъ

какъ съ измѣненіями этихъ угловъ измѣняются и соотвѣтствующія изображенія, то величина послѣдняго въ 1-й главн. плоск. будетъ $\beta' = B$, а послѣдующія за тѣмъ величины $= \beta''$, $\beta''' \ldots\ldots \beta_m$. Послѣдній образъ по нашему условію $= B = \beta'$. Такъ какъ всякія два слѣдующія другъ за другомъ изображенія могутъ быть разсматриваемы въ смыслѣ предмета B и его образа β, то на основаніи формулы 5d

$$\beta' \, n' \, \alpha = \beta'' \, n'' \, \alpha'$$
$$\beta'' \, n'' \, \alpha' = \beta''' \, n''' \, \alpha''$$
$$\vdots$$

Изъ этаго видно, что $\beta' \, n' \, \alpha = \beta_m \, n_m \, \alpha_m$

Но $\beta' = \beta_m$,

Слѣдовательно $n' \alpha = n_m \, \alpha_m$ или $\dfrac{n'}{n_m} = \dfrac{\alpha_m}{\alpha}$

Если же $\dfrac{\alpha_m}{\alpha} = \dfrac{F'}{F''}$, то

$$\frac{F'}{F''} = \frac{n'}{n_m} \quad \ldots 5e$$

Это и требовалось доказать.

По даннымъ, развитымъ въ предъидущихъ параграфахъ, можно уже найти всѣ оптическія точки системы хрусталика, если извѣстны радіусы его кривыхъ поверхностей, толщина и коэффиціенты преломленія какъ самаго хрусталика, такъ и окружающихъ его средъ.

Для покойнаго состоянія глаза, рад. передн. пов. хруст. почти = 10 мм.; рад. задн пов. = 6 мм.; толщина хрусталика = 3,6 мм.; коэфф. прелолм. вещ. хрустал. = 1,455; а коэфф. окруж. его средъ = 1,3376.

Оптическій центръ чечевицы o находится изъ пропорціи $10 : 3{,}6 - x = 6 : x$; откуда $x = 1{,}35$ мм. Стало быть o лежитъ въ разстояніи 1.35 мм. отъ задней поверхн. хрустал. и въ 2,25 мм. отъ передней.

При данномъ положеніи o, узловыя точки хрусталика находятся по формулѣ 3c (принимая для каждой изъ поверхностей хрусталика oh' и oh'' за f' и перемѣняя разумѣется въ формулѣ знакъ для f'), въ которой F' и F'' выводятся изъ формулъ 1a и 1c. Вычисленіе даетъ для k' отстояніе въ 1,4927 мм. отъ задн. пов. хрусталика и для k'' 1,2644 мм. отъ той же поверхности. Стало быть промежутокъ между узловыми точками менѣе $\frac{1}{4}$ мм.

Такъ какъ преломляющая способность обѣихъ средъ, ограничивающихъ хрусталикъ, одинакова, то его главныя точки совпадаютъ съ узловыми.

Фокусныя длины хрусталика (равныя между собою, такъ какъ обѣ среды, окружающія хрусталикъ, имѣютъ равную преломляющую спо-

собность) выводятся на основаніи правилъ, изложенныхъ въ *C*. Вычисленіе даетъ F = 43,707 мм.

3) Опредѣленіе оптическихъ точекъ въ системѣ, состоящей изъ сферической поверхности и двояковыпуклой чечевицы.

Діоптрическій снарядъ глаза состоитъ изъ сочетанія сферической поверхности роговой оболочки и двояковыпуклой чечевицы—хрусталика. Задача наша заключается слѣдовательно въ опредѣленіи оптическихъ точекъ сложной системы по извѣстнымъ оптическимъ точкамъ системы роговой оболочки и хрусталика, взятыхъ отдѣльно другъ отъ друга. Послѣднія двѣ системы представлены на рис. 27 подъ именемъ системъ *A* и *B* (всѣ размѣры соотвѣтствуютъ истиннымъ величинамъ нормальнаго глаза), и намъ требуется вывести систему *C* изъ сочетанія первыхъ двухъ.

Изъ сопоставленія ихъ схематическихъ изображеній выходитъ: 1) что въ системѣ *C* главныя и узловыя точки не могутъ совпадать другъ съ другомъ какъ въ *B*, потому что здѣсь n' и n''' имѣютъ не одинаковую преломляющую способность. 2) Такъ какъ узловая точка системы *A* (центръ поверхн. рогов. обол.) почти совпадаетъ съ k' и k'' системы *B*, то k' и k'' сложной системы *C* должны очевидно измѣнить свое положеніе незначительно и лечь въ заднюю половину хрусталика. 3) Главная точка *h* системы *A* лежитъ на передней поверхности роговой оболочки, h' и h'' (или k' и k'') системы *B* въ толщѣ хрусталика (5,7073 и 5,9356 мм. позади *h* системы A); слѣдовательно h' и h'' системы *C* должны находиться въ промежуткѣ между тѣми и другими, т. е. лечь въ переднюю глазную камеру. 4) Черезъ сочетаніе преломляющихъ системъ *A* и *B* фокусныя длины ихъ должны укоротиться.

Вычисленіе положенія главныхъ точекъ глаза.

Чтобы найти h' и h'' системы *C* нужно найти точку *s* и вычислить положеніе ея образовъ. Послѣдніе будутъ искомыми точками.

Точка *s* очевидно должна лежать между *h* системы *A* и h' системы *B*; — и лежитъ она дѣйствительно здѣсь, раздѣляя пространство hh' на части прямо пропорціональныя фокуснымъ длинамъ системъ *A* и *B*. Если въ самомъ дѣлѣ hθ (рис. 28) будетъ задней фокусной длиной роговой обол., а h'φ передней фокусной длиной хрусталика, то предметъ ss' при посредствѣ одной роговой оболочки дастъ образъ, котораго величина = ah; а при посредствѣ одной чечевицы образъ = $a'h'$. Но изъ чертежа видно (при малыхъ углахъ паденія лучей, ah можно принять за прямую перпендикулярную къ оси въ точкѣ *h* и приравнять θ*a* θ*h*), что ah и a'h' будутъ равны между собою подъ условіемъ, если

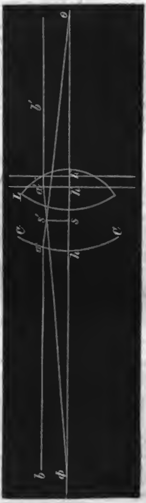
$$\varphi h' : \theta h = sh' : sh.$$

Кромѣ того понятно, что для опредѣленія *s* долженъ быть раздѣленъ пропорціонально фокуснымъ длинамъ промежутокъ hh' а не hh'', потому что лучъ *a'b'* становится параллельнымъ оси уже начиная отъ h'.

Рис. 27.



Рис. 28.



Такъ какъ *h* лежитъ въ глазу въ точкѣ пересѣченія передней поверхности роговой оболочки съ осью, а h' (системы *B*) 5,7073 мм. позади роговой оболочки; такъ какъ далѣе задняя фокусная длина послѣдней = 31,692 мм., а соотвѣтствующая величина хрусталика = 43,707 мм.; то

лежитъ 5,7073 × 31,692 : 31,692 + 43,707 = 2,399 мм. позади роговой оболочки и 5,7073 — 2,399 = 3,3083 мм. впереди передней главной точки чечевицы.

Образъ *s*, даваемый роговой оболочкой, т. е. h' системы *C*, находится очевидно по формулѣ (3с). Положеніе $h' = \frac{2{,}399 \times 23{,}692}{31{,}692 - 2{,}399} = 1{,}9403$ мм. позади *h*, т. е. роговой оболочки.

Образъ *s*, даваемый хрусталикомъ, т. е. h'' системы *C*, находится по формулѣ (R), въ которой $f_1 = 3{,}3083$, а f_2 есть искомая величина: $\frac{1}{43{,}707} = \frac{1}{3{,}3083} + \frac{1}{x}$; отсюда $x = \frac{3{,}3083 \times 43{,}707}{3{,}3083 - 43{,}707} = -3{,}5793$; т. е. h'' системы *C* лежитъ 3,5793 мм. впереди h'' системы *B*. Но этотъ h'' лежитъ 5,9356 мм. позади роговой оболочки, слѣдовательно h'' системы *C* лежитъ 5,9356 — 3,5793 = 2,3563 мм. позади передн. пов. рог. обол.

Вычисленіе узловыхъ точекъ глаза.

Чтобы найти *k'* и *k''* системы *C* нужно отыскать точку *O*; а для этаго пространство между узловою точкою системы *A* и первою узловою точкою системы B слѣдуетъ раздѣлить на части, пропорціональныя соотвѣтствующимъ фокуснымъ длинамъ, отнесеннымъ къ узловымъ точкамъ, т. е. пропорціанально G_1 и G_2.

Задняя фокусная длина роговой оболочки (отнесенная къ h, она=31,692 м.), отнесенная къ узловой точкѣ = 23,692 мм., слѣдовательно равна передней фокусной длинѣ рогов. обол. Фокусныя длины хрусталика, отнесенныя къ узловымъ точкамъ = 43,707 мм. (такъ какъ въ системѣ B,h' совпадаетъ съ k' и h'' съ k''). k системы A лежитъ 8 мм. позади роговой обол., а k' системы B только 5,7073 мм. позади ея, слѣдовательно kk' = 2,2927 мм Послѣдняя величина и должна быть раздѣлена пропорціонально 23,692 и 43,707. $\frac{2{,}2927 \times 43{,}707}{43{,}707 + 23{,}692} = 1{,}4867$. Это и есть отстояніе *O* кзади отъ k' системы B. *O* лежитъ слѣдовательно 5,7073 + 1,4867 = 7,194 мм. позади роговой оболочки.

Образъ *O*, получаемый при посредствѣ роговой оболочки, т. е. k' системы *C*, лежитъ

$$\frac{23{,}692 \times 7{,}'94}{31{,}692 - 7{,}194} = 6{,}957 \text{ мм. позади рогов. обол.}$$

Образъ *O*, получаемый при посредствѣ хрусталика, т. е. k'' системы *C*, находится изъ формулы (R), въ которой $f_1 = 1{,}4867$ очевидно долженъ быть взятъ съ отрицательнымъ знакомъ, потому что точка, изъ которой падаютъ лучи на чечевицу, находится позади 1-й узловой точки Стало быть k'' системы *C* л житъ

$$\frac{43{,}707 \times 1{,}4867}{43{,}707 + 1{,}4867} = 1{,}4376 \text{ мм. позади второй узловой}$$

точки хрусталика, или 1,4376 + 5,9356 = 7,3732 мм. позади роговой оболочки. **Отсюда очевидно слѣдуетъ, что k'k'' и h'h'' системы C**

равны между собою; въ самомъ дѣлѣ первая величина = 7,3732—6,957 мм., а вторая = 2,3563 — 1,9403 мм.

Еще проще находится положеніе узловыхъ точекъ системы C, когда предварительно опредѣлены главные фокусы послѣдней; выше было въ самомъ дѣлѣ доказано (форм. 5a и 5c), что $h'\varphi = k''\theta$ и $h''\theta = k'\varphi$.

Вычисленіе главныхъ фокусовъ глаза.

Задній фокусъ опредѣляется очень легко слѣдующимъ образомъ.

Если на h падаютъ параллельные оси лучи, то при посредствѣ роговой оболочки они сошлись бы въ точкѣ, лежащей 31,692 мм. позади ея, или въ точкѣ, лежащей 31,692 — 5,7073 = 25,9847 мм. позади h′ системы B. Теперь же эти сходящіеся лучи падаютъ на чечевицу и точка схожденія ихъ очевидно опредѣляется изъ уравненія $\frac{1}{43,707} = -\frac{1}{25.9847} + \frac{1}{f_2}$ (такъ какъ лучи, падающіе на хрусталикъ, выходятъ изъ точки, лежащей за 1-ю узловою, то $f_1 = 25,9847$ должно быть взято съ отрицательнымъ знакомъ); отсюда

$$f_2 = \frac{25,9847 \times 43,707}{25,9847 + 43,707} = 16,296 \text{ мм.}$$

Слѣдовательно задній главный фокусъ системы C лежитъ 16,296 мм. позади h″ системы B, или 16,296 + 5,936 = 22,232 мм. позади роговой оболочки, или наконецъ 22,232 — 2,3563 = 19,875 мм. позади 2-й главной точки системы C. Послѣдняя величина и называется главною заднею фокусною длиною глаза.

Передній главный фокусъ находятъ, выходя изъ параллельныхъ съ осью лучей въ сферѣ стекловиднаго тѣла. Такіе лучи собираются хрусталикомъ въ точку, лежащую 43,707 мм. кпереди отъ h′ системы *B*, или въ точку, лежащую на 43,707 — 5,7073 = 37,9997 мм. кпереди отъ роговой оболочки. Послѣдняя преломляетъ эти сходящіеся лучи еще сильнѣе и точка схожденія ихъ очевидно опредѣляется по формулѣ (3c), въ которой $f'' = 37,9997$ должно быть взято съ отрицательнымъ знакомъ; т. е. передній фокусъ системы *C* лежитъ

$$\frac{23,692 \times 37,9997}{31,692 + 37,9997} = 12,918 \text{ мм. передъ рогов. обол.,}$$

или 12,918 + 1,9403 = 14,8583 передъ первой главной точкой системы C. Послѣдняя величина и есть главная передняя фокусная длина глаза.

Ее можно опредѣлить впрочемъ еще по формулѣ 5c., когда уже извѣстна задняя фокусная длина.

§ 18. Выше было замѣчено, что перенесеніе на глазъ упрощенныхъ правилъ построенія свѣтовыхъ изображеній возможно лишь подъ условіемъ, если кривыя поверхности глазныхъ средъ представляютъ дѣйствительно центрированную Опредѣленіе оптическихъ постоянныхъ въ глазу человѣка.

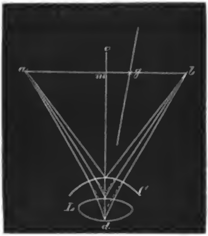
систему. Кромѣ того найти въ глазу положеніе постоянныхъ точекъ невозможно, пока не опредѣлены предварительно величины радіусовъ всѣхъ кривыхъ поверхностей глазныхъ средъ, толщина послѣднихъ и ихъ коэффиціенты преломленія. Поэтому настоящій параграфъ будетъ посвященъ описанію способовъ рѣшенія всѣхъ этихъ предварительныхъ вопросовъ.

Проба на центрированное положеніе глазныхъ средъ.

Проба на центрированное положеніе кривыхъ поверхностей глазныхъ средъ, произведенная Гельмгольтцомъ, основана на слѣдующемъ.

Если выпуклая поверхность *C* (рис. 29) и обѣ поверхности тѣла *L* центрированы по оптической оси *cd*, то свѣтъ,

Рис. 29.



выходящій изъ точки *b* и падающій на кривыя поверхности, долженъ будетъ отражаться въ точку *a*, лежащую относительно *C* и *L* совершенно симметрично съ *b*. При этомъ условіи, глазъ наблюдателя, поставленный въ точку *a*, будетъ видѣть зеркальныя изображенія точки *b* отъ всѣхъ 3-хъ поверхностей разомъ, притомъ въ томъ же относительномъ порядкѣ, въ какомъ лежатъ самыя поверхности, т. е.

рефлексъ отъ *C* спереди, а отраженіе отъ вогнутой поверхности *L* сзади. Понятно далѣе, что дѣло нисколько не перемѣнится, если свѣтящуюся точку перенести въ *a*, а глазъ въ *b*.

Такіе опыты и были сдѣланы Гельмгольтцомъ надъ глазомъ живаго человѣка. Въ уровень съ изслѣдуемымъ глазомъ помѣщалась горизонтальная линейка *ab* (рис. 29) съ отверстіями по обѣимъ сторонамъ для свѣта и для наблюдающаго глаза; къ линейкѣ была придѣлана подвижная мишень *g*, которую можно было передвигать вправо и влѣво, выше и ниже плоскости *abd*. Глазъ смотрѣлъ на мишень и этимъ съ одной стороны сохранялось опредѣленное положеніе его въ пространствѣ, а съ другой давалось направленіе оптической оси системы.

Оказалось вопервыхъ, что зеркальныя изображенія отъ передней поверхности роговой оболочки (*C*) и обѣихъ поверхностей хрусталика (*L*) имѣли правильное положеніе не тогда, когда мишень стояла въ точкѣ m, а когда она находилась нѣсколько выше плоскости *abd* и лежала кнутри отъ *cd*, т. е. для каждаго глаза къ сторонѣ носа. Во вторыхъ Гельмгольтцъ нашелъ, что если при опредѣленномъ положеніи мишени удавалось получить правильное положеніе 3-хъ зеркальныхъ образовъ съ одной стороны, правильность тотчасъ нарушалась, какъ только наблюдающій глазъ переносился на мѣсто свѣтящейся точки, а послѣдняя перемѣщалась на мѣсто глаза.—При этомъ всегда нужно бывало передвинуть нѣсколько мишень, чтобы положеніе рефлексовъ снова стало правильнымъ.

Послѣдній фактъ явно указываетъ, что глазныя среды не вполнѣ центрированы (впрочемъ эти уклоненія, какъ мы сейчасъ увидимъ, незначительны). Изъ перваго же видно, что оптическая ось глазной системы, которой слѣдовало бы совпадать съ геометрической осью *cd*, уклоняется отъ послѣдней кверху и кнутри (въ сторону носа).

Гельмгольтцъ измѣрялъ углы, образуемые горизонтальной проекціей этой линіи съ *cd*, когда для наблюдающаго глаза положеніе 3-хъ зеркальныхъ изображеній по обѣ стороны *cd* было правильно. и нашелъ для трехъ изслѣдованныхъ имъ глазъ слѣдующія величины.

	Свѣтъ падаетъ со стороны носа	со стороны виска
1)	3°47′	4°57′
2)	5°6′	8°12′
3)	5°43′	7°44′.

Эти-то числа, взятыя попарно, и показываютъ, что уклоненія въ положеніи глазныхъ средъ отъ осевой симметричности незначительны; другими словами, что кривыя поверхности ихъ можно безъ большой погрѣшности считать центрированными, но не по геометрической оси глаза, а по линіи, проведенной между разсматриваемой точкой и мѣстомъ ея образа на сѣтчаткѣ. Эту линію, уклоняющуюся отъ геометрической оси глаза, всего приличнѣе назвать **зрительной осью**.

Измѣреніе радіусовъ кривыхъ поверхностей глазныхъ средъ.

Наилучшій способъ измѣренія радіусовъ кривыхъ поверхностей прозрачныхъ средъ на живомъ глазѣ *) основывается на точномъ измѣреніи величины зеркальныхъ изображеній, даваемыхъ этими поверхностями, когда извѣстна величина отражающагося отъ нихъ предмета и разстояніе его отъ изслѣдуемой поверхности. Изъ физики извѣстно въ самомъ дѣлѣ, что величина предмета относится къ величинѣ зеркальнаго изображенія какъ удаленіе предмета отъ зеркала къ полурадіусу послѣдняго. Стало быть величина радіуса находится изъ простой геометрической пропорціи.

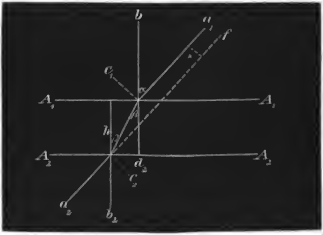
*) На мертвыхъ глазахъ измѣренія эти ведутъ къ ложнымъ результатамъ, потому что ткани глаза, по крайней мѣрѣ нѣкоторыя изъ нихъ, послѣ смерти разслабляются, вслѣдствіе уменьшенія напряженія глаза отъ потери воды.

Инструментомъ для измѣренія величины зеркальнаго изображенія могла бы служить любая зрительная трубка съ микрометромъ въ системѣ окуляровъ; но тогда малѣйшее движеніе наблюдаемаго глазнаго яблока дѣлало бы измѣреніе невозможнымъ; поэтому Гельмгольтцъ устроилъ снарядъ, дающій возможность измѣрять величину изображенія независимо отъ маленькихъ колебаній глаза. Инструментъ этотъ называется офтальмометромъ. Онъ представляетъ зрительную трубку, устроенную для близкихъ разстояній, съ плоскою стеклянною пластинкою передъ объективомъ. Пластинка эта состоитъ изъ 2 отдѣльныхъ половинокъ, вертящихся посредствомъ одного общаго привода около двухъ параллельныхъ осей въ двѣ противуположныя стороны, притомъ такъ, что величины отклоненія обѣихъ половинокъ всегда равны между собою. Пока обѣ эти половинки лежатъ въ плоскости, перпендикулярной къ оси трубки, онѣ образуютъ какъ бы одну сплошную плоскую пластинку, и присутствіе ихъ нисколько не вліяетъ ни на величину, ни на положеніе разсматриваемаго черезъ трубку предмета. Но какъ только онѣ начнутъ повертываться около своихъ осей, лучи отъ предмета начинаютъ падать на нихъ въ косвенномъ направленіи и черезъ это каждая изъ пластинокъ отклоняетъ предметъ въ свою сторону—изображеніе предмета начинаетъ раздваиваться (въ случаѣ, если предметомъ служили двѣ свѣтящіяся точки, то вмѣсто двухъ появляются четыре). Чѣмъ больше двигаются пластинки, тѣмъ больше расходятся изображенія, такъ что наконецъ они начинаютъ касаться своими внутренними краями (при этомъ изъ четырехъ точекъ дѣлается три). Тогда, значитъ, каждое изъ изображеній передвинулось на половину своей длины; а оба вмѣстѣ на цѣлую длину изображенія. Соотвѣтствующая этому моменту величина передвиженія пластинокъ опредѣляется въ самомъ инструментѣ величиною угла, на который онѣ повернуты. Если сверхъ того извѣстна толщина пластинокъ и

ихъ коэффиціентъ преломленія, то легко опредѣляется и величина перемѣщенія образовъ, или что все равно въ нашемъ случаѣ, величина зеркальнаго изображенія.

Пусть въ самомъ дѣлѣ $A_1A_1A_2A_2$ (рис. 30) будетъ одною изъ пластинокъ офтальмометра; a_1c_1 падающій на нее свѣтовой

Рис. 30.



лучь; c_1c_2 — лучь преломленный; c_2a_2 — лучь, выходящій изъ пластинки. Пусть далѣе уголъ паденія луча будетъ α, а уголъ преломленія β; h — толщина пластинки. Понятно, что если продолжить лучь a_2c_2 въ направленіи къ f, то свѣтящійся предметъ будетъ казаться перемѣщеннымъ именно въ этомъ направленіи. Стало быть величина перемѣщенія свѣтящагося предмета будетъ x — перпендикуляръ между a_1c_1 и fc_2. Но въ тоже время

$$x = c_1c_2 . \text{Sin} < c_1c_2f; \text{ а}$$

$$c_1c_2 = \frac{h}{\text{Cos } \beta}$$

$$< c_1c_2f = \alpha - \beta. \quad \text{Слѣдовательно}$$

$$x = h \frac{\text{Sin } (\alpha - \beta)}{\text{Cos } \beta.}$$

Въ случаѣ же, когда перемѣщеніе свѣтящейся точки происходитъ, какъ въ офтальмометрѣ, въ двѣ противуположныя стороны разомъ, то оно конечно вдвое больше:

$$x = 2h \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta.}$$

Послѣдняя формула и служитъ для опредѣленія величины зеркальнаго изображенія

Приложеніе этаго способа къ измѣренію радіусовъ передней поверхности роговой оболочки *) дало слѣдующіе результаты: поверхность эта хотя и уклоняется отъ шаровой (по измѣреніямъ Кнаппа, кривизна ея въ горизонтальномъ разрѣзѣ соотвѣтствуетъ эллипсу съ полуосями въ 10,523 и 9,043 мм., а въ вертикальномъ — элипсу съ полуосями въ 11,495 и 9,501 мм.), но такъ незначительно, что маленькій участокъ ея, соотвѣтствующій верхушкѣ, т. е. тотъ, который лежитъ передъ зрачкомъ, безъ ощутимой погрѣшности можетъ быть принятъ за отрѣзокъ шаровой поверхности. — Для насъ же важенъ именно только этотъ участокъ, такъ какъ черезъ него проходятъ въ глазъ лучи свѣта, незначительно уклоняющіеся отъ оси. Радіусъ кривизны колеблется въ этомъ мѣстѣ у различныхъ людей отъ 7,338 — 8,154 мм. (Гельмгольтцъ).

Радіусъ кривизны внутренней поверхности роговой оболочки измѣрить на живомъ глазѣ невозможно, потому что коэффиціенты преломленія вещества corneae и позади лежа-

*) При измѣреніи ихъ опытъ устраивается такъ: внѣшнимъ предметомъ служатъ двѣ лампы, прикрытыя со стороны изслѣдуемаго глаза ширмами съ маленькимъ отверстіемъ равной величины въ каждой. Лампы устанавливаются въ линіи, перпендикулярной къ геометрической оси глаза, въ разстояніи $1/2$ — $3/4$ аршина другъ отъ друга. По срединѣ между ними, въ направленіи геометрической оси глаза, помѣщается офтальмометръ. При этомъ условіи величиною зеркальнаго изображенія будетъ конечно разстояніе между 2 свѣтящимися точками на роговой оболочкѣ.

щей водянистой влаги почти равны между собою, оттого зеркальнаго изображенія на границѣ между ними не происходитъ. Впрочемъ равная преломляемость названныхъ средъ дѣлаетъ опредѣленіе радіуса внутренней кривизны cornea даже излишнимъ: черезъ это равенство роговая оболочка съ позади лежащею влагою дѣлаются тѣломъ однородвымъ въ діоптрическомъ отношеніи; стало быть для насъ важно знать лишь наружное очертаніе этого тѣла *).

Радіусы кривизны поверхностей хрусталика могутъ быть опредѣлены на живомъ человѣкѣ посредствомъ офтальмометра только приблизительно (производство самыхъ опытовъ см. въ аккомодаціи глаза къ разстояніямъ), потому что зеркальныя изображенія отъ нихъ идутъ въ глазъ наблюдателя черезъ преломляющіе слои водянистой влаги и cornea (а зеркальное изображеніе отъ задней поверхности хрусталика еще черезъ слои послѣдняго) въ косвенномъ направленіи, вслѣдствіе чего толщина слоя не можетъ быть опредѣлена съ точностью. Величины эти колеблятся, по измѣреніямъ Гельмгольтца, между 8,865 и 10,162 мм. для верхушки передней поверхности и 5,860—5,889 мм. для верхушки задней.

Опредѣленіе коэффиціентовъ преломленія глазныхъ средъ.

Входить въ подробное описаніе способовъ опредѣленія коэффиціентовъ преломленія глазныхъ средъ было бы здѣсь неумѣстно, такъ какъ способы эти относятся въ область физики и не заключаютъ въ себѣ ничего особеннаго. Брьюстеръ напримѣръ измѣрялъ измѣненіе разстояній между объективомъ микроскопа и предметомъ, когда въ промежутокъ между ними вводились поочередно вода (съзаранѣе опредѣленнымъ коэф-

---

*) Въ пользу того, что cornea и водянистая влага могутъ быть приняты безъ погрѣшности за однородую среду, говоритъ слѣдующій опытъ Гельмгольтца: онъ измѣрялъ офтальмометромъ черезъ слой воды съ параллельными стѣнками длину какого нибудь предмета и затѣмъ мѣрилъ его черезъ вырѣзанную изъ свѣжаго человѣческаго трупа роговую оболочку, погруженную въ прежній слой воды; величина предмета не измѣнялась опредѣлимымъ образомъ.

фиціентомъ преломляемости) и изслѣдуемыя жидкости; Краузе измѣрялъ, при томъ же условіи, измѣненіе величины микроскопическихъ образовъ; а Гельмгольтцъ помѣщалъ изслѣдуемую глазную жидкость въ полость плоско-вогнутой чечевицы, прикрывалъ ее пластинкой съ параллельными стѣнками и мѣрилъ изображенія предметовъ, разсматриваемыхъ черезъ эту систему, офтальмометромъ (за подробностями читатель можетъ обратиться въ Physiolog. Optik Helmgoltz'a стр. 76—81). Результаты этихъ измѣреній собраны Гельмгольтцомъ въ слѣдующей таблицѣ (въ ней n_0 значаетъ коэффиціентъ преломленія воды).

Таблица коэффиц. преломленія прозрачныхъ средъ глаза у человѣка.

Наблюдатель		Роговая оболочка	Водянистая влага	Стекловидное тѣло	Хрусталикъ		
					Наружн. слой	Средн. слой	Ядро
Шосса		1,33	1,338	1,339	1,338	1,395	1,420
Брьюстеръ $n_0 = 1,3358$			1,3366	1,3394	1,3767	1,3786	1,3839
В. Краузе $n_0 = 1,3342$	Max.	1,3569	1,3557	1,3569	1,4743	1,4775	1,4807
	Min.	1,3431	1,3349	1,3361	1,3431	1,3523	1,4252
	Средн.	1,3507	1,3420	1,3485	1,4053	1,4294	1,4541
Гельмгольтцъ $n_0 = 1,3354$			1,3365	1,3382	1,4189		

Изъ этой таблицы видно, что водянистая и стекловидная влаги имѣютъ почти одинаковые коэффиціенты преломленія, очень мало разнящіеся отъ преломляемости воды, и что хрусталикъ не представляетъ однородной среды въ оптическомъ отношеніи: слои его, по мѣрѣ приближенія къ центру, становятся болѣе и болѣе плотными.

Измѣреніе толщины прозрачныхъ средъ.

Что касается наконецъ до толщины прозрачныхъ средъ глаза, то трудъ отъискиванія способовъ точнаго измѣренія ихъ невознаграждается: съ одной стороны важнѣйшія изъ этихъ величинъ—разстояніе corneae отъ верхушки передней поверхности хрусталика и толщина послѣдняго—подвержены значительнымъ колебаніямъ не только у различныхъ людей, но даже у одного и того же человѣка, при различныхъ состояніяхъ глаза (см. аккомодацію глаза); съ другой — толщины эти важно было бы знать въ направленіи не геометрической, а зрительной оси; положеніе же послѣдней во всякомъ данномъ случаѣ можетъ быть опредѣлено лишь приблизительно. Поэтому здѣсь можно довольствоваться и измѣреніями на мертвомъ глазѣ, принимая лишь во вниманіе измѣненія радіусовъ кривизны передней поверхности хрусталика при аккомодативныхъ движеніяхъ (см. аккомодацію) глаза.

Схематическій глазъ Листинга.

§ 19. Изъ предъидущаго параграфа читатель видитъ ясно, что по размѣрамъ, очертаніямъ и положенію прозрачныхъ преломляющихъ средъ человѣческій глазъ далеко не представляетъ той правильности, какую мы встрѣчаемъ въ физическихъ инструментахъ. Какъ же послѣ этого состанить себѣ общее представленіе о глазѣ, какъ діоптрическомъ аппаратѣ? — Проще всего конечно: отбросить въ сторону уклоненія формъ его поверхностей отъ шаровыхъ; принять систему за центрированную; слить роговую оболочку съ водянистой влагой нъ одно тѣло; признать вещество хрусталика тоже однороднымъ (если при этомъ удержать форму хрусталика, то приходится, по вычисленіямъ Гельмгольтца, придать его веществу преломляющую способность, большую той, которая присуща его зерну); округлить среднія числа описанныхъ въ предъидущемъ параграфѣ оптическихъ постоянныхъ; и наконецъ вычислить, на основапіи всѣхъ этихъ данныхъ, положеніе въ глазу постоянныхъ точекъ, упрощающихъ операцію построенія образовъ.

Все это осуществлено въ идеальномъ, или такъ называемомъ схематическомъ глазѣ Листинга. Вотъ его оптическія постоянныя.

Коэффиціентъ преломленія воздуха	. . . .	1
„ „	водяной жидкости . . .	$\frac{103}{77}$
„ „	вещества хрусталика. .	$\frac{16}{11}$
„ „	стекловиднаго тѣла . .	$\frac{103}{77}$

Радіусъ кривизны роговой оболочки . . . . 8 мм.
„ „ передней поверхности хрусталика 10 мм.
„ „ задней поверхности хрусталика 6 мм.
Разстояніе верхушки роговой оболочки отъ передней верхушки хрусталика . . . . 4 мм.
Разстояніе передней верхушки хрусталика отъ задней 4 мм.

Въ этой системѣ оптическія постоянныя точки лежатъ слѣдующимъ образомъ.

1) Первый фокусъ лежитъ на 12,83 мм. отъ первой преломляющей поверхности, т. е. впереди роговой оболочки въ воздухѣ; второй фокусъ лежитъ на 14,65 мм. позади послѣдней преломляющей поверхности, т. е. позади задней поверхности хрусталика, на сѣтчаткѣ.

2) Первая главная точка лежитъ на 2,17 мм., вторая главная точка на 2,57 мм. позади передней поверхности роговой оболочки; ихъ разстояніе другъ отъ друга равняется слѣдовательно 0,40 мм.

3) Первая узловая точка лежитъ на 0,76 мм., вторая на 0,36 мм. впереди задней поверхности хрусталика.

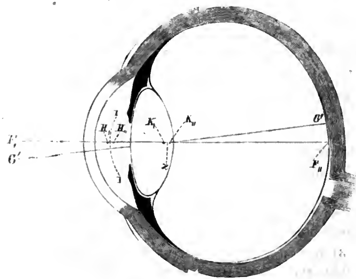
Положеніе этихъ точекъ по оси можно отнести также

къ верхушкѣ роговой оболочки и такимъ образомъ получимъ:

Первый фокусъ.	12,83
Первая главнаяа точка	2,17
Вторая главная точка.	2,57
Первая узловая точка.	7,24
Вторая узловая точка.	7,64
Второй фокусъ	22,65.

Передняя фокусная длина — разстояніе между первымъ фокусомъ и первой главной точкой = 15,01. Задняя фокусная длина — разстояніе между вторымъ фокусомъ (на сѣтчаткѣ) и второй главной точкой — равняется 20,07. Нужно замѣтить, что обѣ эти цифры относятся другъ къ другу, какъ $1 : \frac{103}{77}$, т. е. какъ коэффиціентъ преломленія первой среды къ коэффиціенту послѣдней.

Рис. 31.



На рисункѣ 31 изображенъ схематическій глазъ; въ

немъ сохранены всѣ относительные размѣры; постоянныя точки лежатъ на соотвѣтствующихъ имъ мѣстахъ и обозначены тѣми же буквами какъ въ прежнихъ рисункахъ: фокусы — $F_{\prime}$ и $F_{\prime\prime}$; главныя точки — $H_{\prime}$ и $H_{\prime\prime}$; узловыя точки $K_{\prime}$ и $K_{\prime\prime}$. Въ направленіи линіи $G'G''$ лежитъ въ глазу зрительная ось, такъ какъ нижняя половина рисунка соотвѣтствуетъ сторонѣ носа, верхняя — сторонѣ висковъ. Ниже или правильнѣе кнутри отъ оси можно видѣть мѣсто вхожденія зрительнаго нерва. Такъ какъ въ схематическомъ глазѣ обѣ главныя и обѣ узловыя точки лежатъ очень близко другъ отъ друга, то каждую изъ этихъ паръ можно безъ большой погрѣшности свести на одну точку; происшедшая такимъ образомъ узловая точка обозначена на рисункѣ буквою X, а черезъ главную точку проведена пунктированная дуга H. Преломляющая способность этой упрощенной системы сводилась бы на дѣятельность сферической поверхности, отдѣляющей воздухъ отъ стекловиднаго тѣла, съ верхушкою въ главной точкѣ и оптическимъ центромъ въ узловой. Радіусъ этой поверхности былъ бы, очевидно, = 5,1248 мм. Эта еще болѣе простая схема носитъ названіе „упрощеннаго глаза."

Въ схематическомъ глазѣ образъ всякой предметной точки опредѣляется двумя прямыми линіями, изъ которыхъ первая проведена изъ данной точки въ 1-ю узловую, а вторая параллельно ей — изъ 2-й узловой до пересѣченія съ сѣтчаткой. Въ упрощенномъ же глазѣ обѣ эти линіи сливаются въ одну.

Мѣсто образовъ на сѣтчаткѣ и поле зрѣнія глазъ.

§ 20. Чтобы покончить съ устройствомъ глаза въ діоптрическомъ отношеніи, намъ остается еще опредѣлить мѣсто сѣтчатой оболочки, на которомъ строятся изображенія разсматриваемыхъ предметовъ и опредѣлить поле зрѣнія нашего инструмента. Первый изъ этихъ вопросовъ имѣетъ огромную важность по слѣдующей причинѣ.

Изъ анатоміи глаза читатель видѣлъ, что сѣтчатая обо-

лочка выстилаетъ всю заднюю половину глазнаго яблока; стало быть при всякомъ данномъ положеніи глаза на днѣ его рисуется множество предметовъ; а между тѣмъ всякій знаетъ изъ наблюденій надъ самимъ собою, что человѣкъ въ данное мгновеніе можетъ разсматривать только одинъ какой-нибудь предметъ. — Поэтому естественно является вопросъ, не имѣетъ ли образъ разсматриваемаго предмета, по отношенію къ образамъ окружающихъ, какого-нибудь опредѣленнаго положенія на сѣтчаткѣ. — Вопросъ этотъ законенъ тѣмъ болѣе, что описанныя нами въ предъидущихъ §§ діоптрическія свойства глаза, которыми мы старались объяснить его способность давать на днѣ ясныя изображенія внѣшнихъ предметовъ, имѣютъ значеніе только для случаевъ, когда свѣтовые лучи, падающіе на глазъ, образуютъ незначительные углы съ его оптической осью.

Опытъ отвѣчаетъ на этотъ вопросъ утвердительно. — Онъ указываетъ, что образы разсматриваемыхъ предметовъ рисуются всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ сѣтчатки, именно въ центральномъ углубленіи желтаго пятна. — Если освѣтить дно глаза посредствомъ глазнаго зеркала (объ этой операціи см. ниже), то желтое пятно легко бываетъ отличить отъ прочихъ частей сѣтчатки тѣмъ, что оно не покрыто кровеносными сосудами, а центральное углубленіе его — по особенному отблеску. — Если при этомъ заставить изслѣдуемый глазъ (конечно живаго человѣка) смотрѣть на какой нибудь предметъ, то оказывается, что образъ послѣдняго всегда лежитъ на центральномъ углубленіи.

Поставивъ этотъ фактъ рядомъ съ тѣмъ, что было сказано выше относительно зрительной оси, оказывается, что выведенные нами діоптрическіе законы приложимы именно къ построенію изображеній разсматриваемыхъ, а не окружающихъ предметовъ (такъ какъ глазныя среды центрированы по зрительной оси, упирающейся однимъ концомъ въ

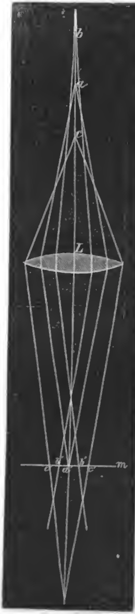
средину центральнаго углубленія желтаго пятна, а другимъ въ разсматриваемый предметъ). Ходъ лучей отъ послѣднихъ не можетъ быть опредѣленъ съ точностью; но если объ ясности образовъ судить по ясности ощущенія, то можно думать, что изображенія на боковыхъ частяхъ сѣтчатки тѣмъ менѣе ясны, чѣмъ далѣе лежитъ образъ отъ желтаго пятна. Впрочемъ въ неясности ощущеній играетъ вѣроятно еще большую роль ослабѣвающая съ удаленіемъ отъ центра чувствительность сѣтчатки къ свѣту.

Гельмгольтцъ обрисовываетъ поле зрѣнія нашего инструмента (Phys. Opt. стр. 66) слѣдующимъ образомъ. Глазъ представляетъ оптическій инструментъ съ очень обширнымъ полемъ зрѣнія (при параллельности осей обоихъ глазъ, устремленныхъ вдаль, оно обнимаетъ въ горизонтальной плоскости дугу больше 180), но ясные образы рисуются въ немъ лишь на маломъ, тѣсно ограниченномъ, пространствѣ. Все поле соотвѣтствуетъ рисунку, въ которомъ главныя части цѣлаго исполнены очень тщательно, а побочная обстановка лишь набросана, и тѣмъ небрежнѣе, чѣмъ болѣе она удалена отъ главнаго предмета. Благодаря однако подвижности глаза, намъ дана возможность разсматривать послѣдовательно каждую отдѣльную точку въ полѣ зрѣнія. Хотя при этомъ условіи мы одновременно можемъ остановить наше вниманіе лишь на одномъ предметѣ, но одной, ясно видимой точки вполнѣ достаточно, чтобы занять его при изученіи деталей картины; за то, съ другой стороны, большое поле зрѣнія выгодно тѣмъ, что, не смотря на его неясность, оно даетъ намъ возможность быстрымъ взглядомъ усвоить себѣ всѣ главныя черты окружающей среды и замѣчать новые предметы, появляющіеся съ боковъ поля зрѣнія.

Круги свѣторазсѣянія на сѣтчаткѣ.

§ 21. Приступая къ изученію глаза въ діоптрическомъ

Рис. 32.



отношеніи, мы сравнили его съ камерой-обскурой и сравненіе это оказалось очень полезнымъ; поэтому будемъ проводить аналогію между обоими аппаратами далѣе.

Извѣстно, что если предметное стекло (двояко-выпуклая чечевица) и воспринимающая изображенія матовая пластинка камеры-обскуры остаются неподвижными, то на послѣдней рисуются совершенно ясныя и отчетливыя изображенія только отъ предметовъ, находящихся на одномъ опредѣленномъ разстояніи отъ предметнаго стекла: предметы же, лежащіе ближе къ объективу или дальше отъ него, даютъ изображенія съ неясными расплывшимися контурами. Это происходитъ отъ того, что въ первомъ случаѣ конусы лучей, выходящіе изъ каждой точки предмета и падающіе на чечевицу. сходятся по преломленіи въ конусы такой длины, что вершины ихъ упираются въ матовую пластинку; а во второмъ схожденіе лучей по преломленіи происходитъ или за пластинкой, или не доходя до нея, такъ что на послѣдней вмѣсто точки рисуется цѣлый кругъ, происшедшій отъ пересѣченія конуса съ пластинкой. Всѣ эти три случая изображены на рис. 32. Если при данномъ разстояніи свѣтящейся точки *a* отъ *L* образъ *a* падаетъ на пластинку *m* въ формѣ точки a', то удаленіе *a* отъ *L* въ *b* дастъ на *m* кругъ свѣтораз-

сѣянія $b'b'$, потому что лучи падаютъ на чечевицу изъ b менѣе расходящимися, чѣмъ изъ a, слѣдовательно она соберетъ ихъ скорѣе, чѣмъ въ первомъ случаѣ, т. е. они не дойдутъ до m. При передвиженіи a въ c должно быть конечно обратное, т. е. на пластинкѣ m долженъ получиться кругъ свѣторазсѣянія $c'c'$.

Въ глазу, конечно, должно быть тоже самое. И дѣйствительно въ этомъ можно убѣдиться самымъ положительнымъ образомъ.

Если освѣтить человѣку дно глаза глазнымъ зеркаломъ и заставить его смотрѣть на какой-нибудь опредѣленный предметъ, то образъ свѣчки, удаленной отъ глаза на одинаковое разстояніе съ предметомъ, будетъ рисоваться на сѣтчаткѣ совершенно отчетливо; но стоитъ только приблизить значительно свѣчку, оставивъ разсматриваемый предметъ на па прежнемъ разстояніи — и образъ ея становится расплывшимся.

Тоже самое можно доказать еще такъ. — Извѣстно, что форма круга свѣторазсѣянія отъ одной свѣтящейся точки зависитъ отъ очертанія преломляющей среды; если, напримѣръ, чечевица круглая, то разсѣявный образъ точки будетъ кругомъ; если чечевица прикрыта ширмой съ треугольнымъ отверстіемъ, то разсѣянный образъ будетъ имѣть форму треугольника и пр. Понятно, что и въ глазу должно быть тоже самое, если въ немъ существуютъ условія для свѣторазсѣянія. Возьмемъ булавку, приблизимъ ее вершка на $1 \frac{1}{2}$ къ глазу и будемъ смотрѣть на солнечное отраженіе отъ ея головки (свѣтящаяся точка) — точка будетъ казаться свѣтлымъ кругомъ. Вырѣжемъ теперь въ картѣ маленькое треугольное отверстіе, чтобы оно было меньше зрачка и будемъ смотрѣть на булавку при прежнемъ удаленіи ея отъ глаза уже черезъ дырочку — вмѣсто свѣтлаго круга появится свѣтлый треугольникъ.

Послѣдній фактъ, устанавливая совершенную параллельность между формою разсѣянныхъ образовъ на сѣтчаткѣ и формою вызываемыхъ ими ощущеній, даетъ въ руки новыя и самыя простыя средства изучать въ глазу явленія свѣторазсѣянія.—Именно, неясность видимыхъ предметовъ, неотчетливость ихъ очертаній, есть всегда вѣрный признакъ того, что данный предметъ производитъ круги свѣторазсѣянія, т. е. рисуется на сѣтчаткѣ неясно, неотчетливо.

Послѣ этаго читателю будетъ понятенъ безъ дальнѣйшихъ разсужденій слѣдующій простой опытъ.

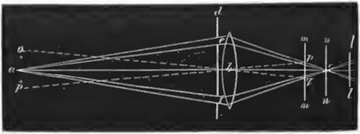
Если одинъ глазъ закрыть, а передъ другимъ держать центиметрахъ въ 15 булавку и смотрѣть через нее на болѣе далекіе предметы, оконную раму, домъ, деревья, горы и т. д., то въ ту минуту, какъ послѣдніе видны ясно, булавка представляется расплывшейся темной чертой. Если же, наоборотъ, глазъ смотритъ на булавку и она получаетъ ясное очертаніе, форма дальнихъ предметовъ теряетъ свою отчетливость. Еще поучительнѣе этотъ опытъ въ формѣ, данной ему Гельмгольтцомъ. Передъ глазомъ держатъ какую нибудь сѣтку (тюль, кисею, или тому подобную ткань), а за нею приблизительно въ 50 цм. печатную страницу. Въ то время, когда буквы видны ясно, изъ поля зрѣнія исчезаютъ нити ткани и образуютъ родъ тумана, сквозь который мы отчетливо различаемъ буквы. Когда же, наоборотъ, становятся ясны нити сѣтки, то буквы сплываются позади послѣдней въ круги свѣторазсѣянія.

Уже этихъ простыхъ опытовъ было бы, собственно говоря, достаточно для удостовѣренія въ томъ, что глазъ нашъ **не можетъ видѣть въ одно и тоже время ясно двухъ предметовъ, различно удаленныхъ отъ него;** но такъ какъ это положеніе имѣетъ огромную важность, то необходимо привести такой опытъ, который исключалъ бы всякую дальнѣйшую возможность сомнѣній въ фактѣ.

Опытъ этотъ принадлежитъ Шейнеру и состоитъ собственно изъ двухъ параллельныхъ опытовъ, изъ которыхъ въ одномъ роль преломляющей среды играетъ двояковыпуклая чечевица, а въ другомъ глазъ живаго человѣка. Дѣло вотъ въ чемъ.

Дана свѣтящаяся точка *a* (рис. 33); чечевица *b*; между ними, подлѣ самой чечевицы, непрозрачная ширма *d*, съ двумя

Рис. 33.



отверстіями *e* и *f*, и наконецъ подвижная ширма *nn* для воспринятія изображеній. Для всякаго разстоянія *a* до *b*, превышающаго главное фокусное разстояніе чечевицы, по ту сторону послѣдней существуетъ точка *c*, въ которую сходятся конусы лучей *ae* и *af*. Стало быть, если *nn* поставлена въ *c*, образъ *a* будетъ точечный. Если же, оставивъ чечевицу и обѣ ширмы въ прежнемъ положеніи, начать двигать точку *a* взадъ и впередъ, или наоборотъ двигать одну ширму *nn* (послѣднее выражено на рисункѣ), оставивъ на мѣстѣ *a* и *d*, то понятно, что свѣтовые конусы *ae* и *af* будутъ пересѣкать ширму *nn*, или до своего схожденія въ точку *c*, или за предѣлами послѣдней, когда они снова расходятся двумя конусами.— Въ обоихъ случаяхъ, вмѣсто одного точечнаго изображенія на ширмѣ, получатся два круга свѣторазсѣянія. Когда *nn* стоитъ въ *mm*, закрываніе пальцемъ отверстія *e* производитъ исчезаніе верхняго круга свѣторазсѣянія *p*, закрываніе *f* производитъ исчезаніе нижняго круга свѣторазсѣянія *q*. Когда

же *nn* стоитъ въ *II* — бываетъ обратное, т. е. закрытіе и исчезаніе дѣлаются перекрестными.

Возьмемъ теперь вмѣсто чечевицы собственный глазъ; вмѣсто ширмы *d* — игральную карту, въ которой проколоты булавкой два отверстія на разстояніи меньшемъ чѣмъ діаметръ зрачка; наконецъ вмѣсто точки *a*—двѣ булавки, вколотыя въ пробковую пластинку на разстояніи полуаршина другъ отъ друга. Всѣ эти предметы нужно установить передъ глазомъ такъ, чтобы обѣ булавки лежали въ направленіи одной и той же зрительной оси, но чтобы ихъ можно было видѣть обѣ разомъ, и чтобы линія, соединяющая отверстія карты, была перпендикулярна къ положенію обѣихъ булавокъ, т. е. если послѣднія стоятъ вертикально, линія эта должна быть горизонтальна и наоборотъ

Устроивъ дѣло такимъ образомъ, нужно смотрѣть поочередно, но пристально (т. е. не бѣгая постоянно глазомъ съ одной булавки на другую) то на ближайшую, то на дальнюю булавку. Оказывается, что та, на которую глазъ смотритъ въ данное мгновеніе, всегда видится одинокой и съ отчетливыми контурами, другая же всегда видится вдвойнѣ и съ контурами менѣе отчетливыми. Явленіе это очевидно тождественно съ предъидущимъ по способу происхожденія. Случай одинокаго видѣнія разсматриваемой, или, какъ говорятъ обыкновенно, **фиксируемой** булавки соотвѣтствуетъ случаю, когда ширма *nn*,—а въ нашемъ опытѣ сѣтчатка,—стоитъ въ *c* — мѣстѣ схожденія свѣтовыхъ конусовъ, идущихъ черезъ отверстія ширмы. Тогда всякій предметъ, лежащій къ глазу ближе или дальше разсматриваемаго, долженъ давать два круга свѣторазсѣянія.—Именно, если глазъ смотритъ на ближайшую булавку, то дальняя должна казаться двойною на томъ основаніи, что лучи ея, падая на глазъ менѣе расходящимися, собираются въ одну точку передъ сѣтчаткой; стало быть на послѣднюю падаютъ лучи уже послѣ своего

расхожденія (этотъ случай соотвѣтствуетъ въ рис. 33 положенію ширмы *nn* въ *ll*). Если, ваоборотъ, глазъ фиксируетъ дальнюю булавку, то ближайшая будетъ двойною ва томъ основаніи, что лучи ея сходятся за сѣтчаткой (этотъ случай соотвѣтствуетъ въ рисункѣ положенію ширмы въ *mm*).

Объясневіе это дѣйствительно просто, но посмотримъ однако, выдержитъ ли ово пробу на закрываніе отверстій, т. е. будетъ ли и здѣсь тоже самое отношеніе между исчезающими отверстіями и образами, какъ въ опытѣ съ чечевицей.

Положимъ, глазъ фиксируетъ ближайшую иголку и вдойнѣ видится дальняя (когда *nn* ваходится въ *ll*). Закрываю отверстіе *e* — слѣдовало бы исчезвуть, по аналогіи съ предъидущимъ случаемъ, образу, лежащему съ противуположной сторовы (т. е. если дырочки въ ширмѣ лежатъ горизонтально, то при закрываніи праваго отверствія долженъ былъ бы исчезвуть лѣвый образъ, или ваоборотъ); а получается противное, т. е. исчезаетъ образъ соотвѣтствующей стороны. Если двоится ближайшая иголка, т. е. когда глазъ смотритъ на дальвюю, то и здѣсь при закрываніи отверстій происходитъ совершенно обратное тому, что было въ опытѣ съ чечевицей — вмѣсто одвосторонняго исчезанія отверстій и образовъ, является перекрестное. Большаго разворѣчія результатовъ конечво ожидать нельзя; а между тѣмъ несогласіе это только кажущееся. Въ опытахъ съ чечевицей глазъ ваблюдателя видитъ, при закрываніи отверстій *e* и *f*, исчезавіе соотвѣтствующихъ образовъ на ширмѣ *nn*; въ опытахъ же втораго рода дѣло происходитъ иначе: глазъ уже такъ устроенъ, что рядомъ со всякимъ свѣтовымъ вліявіемъ на сѣтчатку овъ тотчасъ же объективируетъ ощущеніе, т. е. переводитъ его во внѣшній міръ; и такъ какъ внѣшніе предметы рисуются на сѣтчаткѣ въ обратвомъ видѣ, а видятся въ прямомъ, значитъ переносъ этотъ совершается накрестъ, т. е. изъ точекъ сѣтчатки,

лежащихъ справа или снизу отъ оси,—влѣво и кверху отъ нея, и наоборотъ. Послѣ этого понятно, что отношенія между отверстіями *e* и *f* и образами ихъ на сѣтчаткѣ съ одной стороны, и между тѣми же отверстіями и проекціями образовъ наружу — съ другой, должны быть противуположны. Для большей ясности пусть читатель взглянетъ на рис. 33. Пунктированныя линіи *qbQ* и *pbP* изображаютъ направленіе, въ которомъ переносятся свѣтовыя вліянія отъ сѣтчатки наружу.

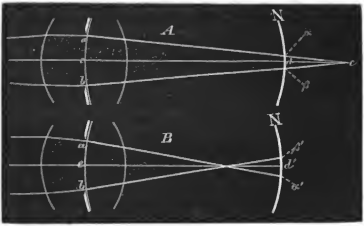
И такъ, глазъ нашъ въ самомъ дѣлѣ не можетъ видѣть въ одно и тоже время съ одинаковою ясностью двухъ предметовъ, различно удаленныхъ отъ него: яснымъ представляется только фиксируемый въ данное мгновеніе, всѣ же прочіе, лежащіе ближе или дальше отъ глаза, не могутъ быть видимы совершенно отчетливо, потому что даютъ разсѣянные образы на сѣтчаткѣ.

Величины свѣторазсѣянія въ глазу.

§ 22. Это свойство глаза не вредитъ въ сущности его зрительной функціи, потому что онъ, какъ мы вскорѣ увидимъ, обладаетъ способностью чрезвычайно быстро переходить отъ разсматриванія (фиксированія) близкихъ предметовъ къ далекимъ и обратно; притомъ у человѣка главнымъ, если не исключительнымъ, психическимъ содержимымъ всякаго зрительнаго акта бываетъ ощущеніе только отъ ясно видимаго (фиксируемаго) предмета. Но конечно всякій согласится, что свойство глаза видѣть въ данное мгновеніе ясно одинъ только предметъ все-таки составляетъ недостатокъ; и потому со стостороны физіолога совершенно естественно стремленіе къ изученію условій, при которыхъ разсѣянныя образы на сѣтчаткѣ даютъ себя чувствовать болѣе или менѣе сильно. Изъ такого изученія могутъ вытечь даже практическія правила, какъ поступать въ нѣкоторыхъ случаяхъ для ограниченія явленій свѣторазсѣянія.

Величина разсѣянныхъ образовъ на сѣтчаткѣ зависитъ, какъ легко видѣть изъ фиг. A и B рис. 34, отъ двухъ

Рис. 34.



условій: величины зрачка (ab) и удаленія точки схожденія преломленныхъ лучей (c) отъ сѣтчатки N (послѣднія величины на рисункахъ суть прямыя cd и cd'). Чѣмъ меньше обѣ эти величины, или каждая изъ нихъ въ отдѣльности, тѣмъ меньше кругъ свѣторазсѣянія ($\alpha\beta$ и $\alpha'\beta'$) и наоборотъ. Изъ подобія треугольниковъ abc и $\alpha\beta c$, abc и $\alpha'\beta' c$ сверхъ того видно, что

$$\alpha\beta = \mathrm{ab}\ \frac{\mathrm{cd}}{\mathrm{de+dc}} \quad (\mathrm{M})$$

$$\alpha'\beta' = \mathrm{ab}\ \frac{\mathrm{cd'}}{\mathrm{d'e-d'c}}; \quad (\mathrm{N})$$

Стало быть діаметры круговъ свѣторазсѣянія легко опредѣлить и въ настоящемъ глазу, если извѣстны съ одной стороны всѣ его размѣры, съ другой даны: опредѣленная величина зрачка *) и разстояніе свѣтящейся точки отъ глаза.

*) При этихъ вычисленіяхъ ab не должно, строго говоря, представлять истинной величины зрачка, а величину его образа, рисуемаго въ стекловидномъ тѣлѣ хрусталикомъ; потому что подобно тому, какъ

Числа помѣщенной ниже таблицы вычислены Листингомъ для его схематическаго глаза, при постоянномъ діаметрѣ зрачка въ 4 мм., и представляютъ измѣненіе разстояній образовъ (величины *cd* рис. 34) отъ сѣтчатки и діаметровъ круговъ свѣторазсѣянія ($\alpha\beta$), съ измѣненіемъ разстоянія свѣтящейся точки отъ 1-го фокуса. Глазъ этотъ, какъ извѣстно, имѣетъ 2-й фокусъ въ сѣтчаткѣ; значитъ на послѣдней строятся ясныя изображенія только отъ безконечно далекихъ предметовъ, съ приближеніемъ же ихъ къ глазу, ясное изображеніе отодвигается за сѣтчатку.

Разстояніе предмета отъ 1-го глазнаго фокуса.	Разстояніе образа отъ сѣтчатки.	Діаметръ свѣторазсѣянія.
∞	0 мм.	0 мм.
65 м.	0,005	0,0011
25 »	0,012	0,0027
12 »	0,025	0,0056
6 »	0,050	0,0112
3 »	0,100	0,0222
1,5 м.	0,200	0,0443
0,75 »	0,40	0,0825
0,375 »	0,80	0,1616
0,188 »	0,160	0,3122
0,094 »	3,20	0,5768
0,088 »	3,42	9,6484

Эта таблица ясно доказываетъ, что отстояніе изображенія отъ сѣтчатки измѣняется очень незначительно, пока передвигающіеся предметы значительно удалены отъ глаза, и что,

лучи свѣта, проведенные извнѣ къ краямъ образа зрачка, рисуемаго водянистой влагой и роговой оболочкой, проходятъ черезъ края истиннаго зрачка, точно также послѣ преломленія въ хрусталикѣ они идутъ по стекловидному тѣлу такъ, какъ будто выходили изъ образа зрачка, рисуемаго здѣсь хрусталикомъ. Впрочемъ эта поправка *ab* незначительна.

наоборотъ, образъ относительно быстро отодвигается кзади при передвиженіи предметовъ, лежащихъ близко. Такъ, изображеніе удаляется отъ сѣтчатки лишь на 0,025 мм. кзади, когда предметъ передвигается изъ безпредѣльной дали на сравнительно незначительное разстояніе въ 12 метровъ. Въ этихъ предѣлахъ передвиженіе предмета въ 94 мм. не будетъ сопровождаться замѣтнымъ передвиженіемъ образа. Но тоже передвиженіе предмета въ 94 мм. (сравни предпослѣднюю строку и третью снизу въ таблицѣ) производитъ наоборотъ перемѣщеніе образа на цѣлые 2,60 мм., если оно начинается съ разстоянія въ 188 мм. отъ перваго фокуса. Наконецъ, если разсматривать и третью графу таблицы, то видно сейчасъ же. что глазъ, сѣтчатая оболочка котораго совпадаетъ съ фокусной плоскостью, будетъ видѣть ясно нетолько безконечно далекіе, но вообще всѣ предметы, лежащіе не ближе нѣсколькихъ метровъ отъ глаза. Провести послѣднюю границу въ частныхъ случаяхъ однако трудно, потому что величина круговъ свѣторазсѣянія, прежде чѣмъ она станетъ мѣшать ясному видѣнію, будетъ всегда зависѣть частью отъ другихъ неправильностей глаза, частью отъ чувствительности ощущающаго аппарата. Круги свѣторазсѣянія съ поперечникомъ въ 0,001 мм. однако не замѣчаются должно быть ни въ какомъ случаѣ. Поэтому мы можемъ смѣло принять 65 м. за крайній предѣлъ и сказать: что глазъ, принаровленный къ безконечной дали, можетъ видѣть въ то же время съ не меньшей ясностью всѣ предметы, лежащіе отъ него не ближе 65 м. Впрочемъ промежутокъ, въ которомъ предметъ можетъ двигаться взадъ и впередъ, не переставая быть явственно видимымъ, существуетъ для всякаго мыслимаго состоянія діоптрическихъ средъ глаза. Онъ называется „пространствомъ яснаго видѣнія“. При смотрѣніи глазомъ въ большую даль, это пространство безконечно велико; но оно будетъ тѣмъ ограниченнѣе, чѣмъ

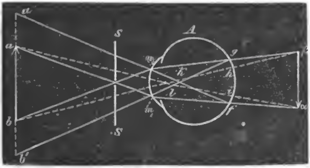
меньше разстояніе, къ которому принаровленъ глазъ, потому что перемѣщенія близкихъ предметовъ даютъ значительное передвиженіе образовъ. Понятно, что при послѣднемъ условіи круги свѣторазсѣянія будутъ замѣтны уже при легкихъ перемѣщеніяхъ. Убѣдиться въ этомъ легко на собственныхъ глазахъ. Стоитъ только прикрѣпить булавку на нѣсколько центиметровъ отъ печатнаго листа бумаги и затѣмъ начать, то подходить къ нимъ близко, то удаляться отъ нихъ, фиксируя постоянно булавку. Если напр. смотрѣть на послѣднюю съ разстоянія 15 цм., то буквы, лежащія за нею, становятся положительно неясны. Значитъ, разстояніе между булавкой и листомъ бумаги превосходитъ длину пространства яснаго видѣнія для глаза, принаровленнаго къ короткому разстоянію въ 15 цм. Если отойти подальше. наприм. на 60 цм., то уже можно видѣть ясно и буквы и булавку разомъ. При смотрѣніи глаза на разстояніе въ 60 цм. пространство яснаго видѣнія будетъ слѣдовательно уже равно промежутку между булавкою и буквами на листѣ бумаги.

Не мѣшаетъ замѣтить, что мы вовсе не постоянно избѣгаемъ круговъ свѣторазсѣянія при зрительномъ актѣ. Часто, для того, чтобы какъ можно яснѣе видѣть мелкіе предметы, мы ихъ подносимъ къ глазу ближе, чѣмъ это допускается приспособляющей способностью послѣдняго. — Мы жертвуемъ ясностью образа ради величины его; и дѣйствительно, иногда большое, хотя и менѣе отчетливое, изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ даетъ болѣе возможности видѣть всѣ детали предмета, чѣмъ ясное, но маленькое изображеніе.

Съ другой стороны увеличенный образъ мелкаго предмета, поднесеннаго очень близко къ глазу, можно сдѣлать еще яснѣе и вмѣстѣ съ тѣмъ еще больше увеличить изображеніе, если смотрѣть на предметъ черезъ маленькое отверстіе, напр. булавочный проколъ въ картѣ. Тогда разсѣянный образъ предмета будетъ увеличиваться тѣмъ болѣе, чѣмъ далѣе

отстоитъ отъ глаза карточное отверстіе, при неизмѣнномъ положеніи предмета. Всѣ эти эффекты легко понять изъ рис. 35, въ которомъ *ab* обозначаетъ напр. булавку, а *SS*

Рис. 35.



карту съ отверстіемъ. Если точки *α* и *β* суть изображенія точекъ *a* и *b*, то центрами соотвѣтствующихъ круговъ свѣторазсѣянія на сѣтчаткѣ — круговъ очень незначительныхъ, потому что конусы лучей, падающихъ на роговую оболочку, имѣютъ очень узкое основаніе — будутъ точки *g* и *f*. Соединивъ послѣднія прямыми линіями съ узловою точкою *k* и продолживъ ихъ наружу, получается то направленіе, въ которомъ глазъ объективируетъ свѣтовыя вліянія въ точкахъ *f* и *g*, другими словами получается то направленіе, въ которомъ долженъ былъ бы лежать при обыкновенномъ ясномъ видѣніи предметъ, соотвѣтствующій образу *fg*. Мы и переносимъ ощущеніе дѣйствительно въ этихъ направленіяхъ, а оттого булавка кажется намъ увеличенной (a'b'). Увеличеніе это очевидно будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше *SS* будетъ приближаться къ *ab*, потому что вмѣстѣ съ этимъ точки m_1 и m_2, равно какъ *f* и *g*, постоянно удаляются отъ глазной оси. Съ другой стороны легко видѣть, что безъ ширмы *SS* булавка *ab* должна вообще казаться меньше, чѣмъ при разсматриваніи ея черезъ отверстіе, потому что тогда

центры круговъ свѣторазсѣянія на сѣтчаткѣ, *i* и *h*, опредѣляются осевыми лучами конусовъ, падающихъ на зрачекъ, т. е. ломаными линіями *blh* и *ali*, проходящими черезъ центръ зрачка *l*. Образъ же *hi* очевидно меньше образа *fg*.

Приспособленіе глаза къ разстояніямъ, аккомодація глаза.

§ 23. Всякій знаетъ, что человѣкъ способенъ видѣть (не одновременно, а послѣдовательно) предметы совершенно ясно на различныхъ разстояніяхъ. Значитъ, глазъ его способенъ давать на сѣтчаткѣ совершенно ясныя изображенія отъ различно удаленныхъ предметовъ. Всякому извѣстно далѣе изъ наблюденій надъ самимъ собою, что въ дѣлѣ разсматриванія предметовъ переходы отъ далекихъ къ близкимъ и обратно суть акты воли, и что при этомъ (особенно при переходѣ отъ далекихъ предметовъ къ близкимъ) въ глазу чувствуется какое-то напряженіе, усиліе. Значитъ, въ глазу, разсматривающемъ послѣдовательно различно удаленные предметы, должны происходить какія-то измѣненія съ нервнымъ характеромъ, ведущія за собою ясность образовъ разсматриваемыхъ предметовъ.

Объ этихъ-то измѣненіяхъ, дающихъ глазу возможность приспособляться къ разстояніямъ, и будетъ теперь рѣчь. —

Послѣ того, какъ доказано сходство глаза съ камерой обскурой, механизмъ его аккомодаціи можно представлять себѣ теоретически устроеннымъ на нѣсколько ладовъ. Можно думать: 1) что въ глазу, при его аккомодативныхъ движеніяхъ, преломляющія поверхности остаются неподвижными въ пространствѣ, а передвигается взадъ и впередъ одна только сѣтчатка; 2) что послѣдняя, наоборотъ, остается неподвижной, а передвигаются глазныя среды; наконецъ 3) что тѣ и другія остаются на своихъ мѣстахъ, а измѣняются только кривизны

преломляющихъ поверхностей *). При первомъ условіи приближеніе предмета къ глазу должно было бы отодвигать сѣтчатку назадъ и наоборотъ, при второмъ—оно производило бы передвиженіе преломляющихъ поверхностей впередъ (и наоборотъ); наконецъ въ 3-мъ случаѣ оно требовало бы увеличенія кривизны преломляющихъ поверхностей, т. е. уменьшенія радіусовъ ихъ кривизны (и наоборотъ).

При болѣе внимательномъ разматриваніи, первое предположеніе оказывается однако несостоятельнымъ даже теоретически и положительно опровергается опытомъ. Удлинненіе глазнаго яблока противъ размѣровъ вышеописаннаго схематическаго глаза должно было бы въ самомъ дѣлѣ равняться приблизительно 3 мм., чтобы на его сѣтчатой оболочкѣ ясно нарисовался образъ предмета, удаленнаго на 100 мм. (см. таблицу на страницѣ 96). Но такое значительное удлиненіе глаза спереди назадъ уже съ анатомической точки зрѣнія не могло бы имѣть мѣста безъ значительнаго давленія на глазной экваторъ. Откуда же ему взяться? Думали, что это давленіе могло бы быть произведено шестью глазными мышцами при ихъ одновременномъ сокращеніи. Но во первыхъ, изъ дѣятельности этихъ мышцъ вовсе не ясно вытекаетъ необходимость удлиненія глазной оси сзади напередъ; — можно думать даже, что при сокращеніи ихъ произойдетъ скорѣе обратное, т. е. уплощеніе глаза. Во вторыхъ — и это самое главное—Гельмгольтцъ доказалъ прямыми опытами, что всякое давленіе на глазное яблоко ведетъ за собою уплощеніе роговой оболочки (для этого онъ измѣрялъ офтальмометромъ величину зеркальнаго изображенія на рого-

*) Ради теоретической полноты можно было бы конечно думать еще, что при аккомодативныхъ движеніяхъ глаза измѣняется также самое вещество преломляющихъ средъ, дѣлаясь болѣе или менѣе плотнымъ, но къ глазу мысль эта не приложима, потому что его прозрачныя среды не стоятъ въ непосредственной связи съ нервными механизмами, управляющими аккомодаціей.

вой оболочкѣ передъ давленіемъ и во время него), а такого уплощенія при нормальныхъ аккомодативныхъ движеніяхъ глаза, по его же опытамъ, не замѣчается. — При этихъ условіяхъ кривизна corneae и положеніе ея въ пространствѣ вообще неизмѣняются нисколько.

Условія для осуществленія въ глазу втораго предположенія, т. е. условія для перемѣщенія прозрачныхъ средъ (разумѣется за исключеніемъ роговой оболочки) взадъ и впередъ, можетъ быть и существуютъ (возможно представить себѣ, въ самомъ дѣлѣ, что подъ вліяніемъ сокращенія меридіанныхъ волоконъ мышцы, натягивающей сосудистую оболочку, стекловидное тѣло удлиняется сзади напередъ и перемѣщаетъ хрусталикъ кпереди), но въ такой незначительной степени, что объяснить ими явленія аккомодаціи нѣтъ никакой возможности *).

Поэтому остается только 3-е предположеніе. Оно, какъ сейчасъ увидимъ, и осуществляется въ глазу.

Вотъ сумма явленій, происходящихъ въ немъ при переходѣ отъ разсматриванія далекихъ предметовъ къ фиксированію близкихъ, или, какъ говорится обыкновенно, при приспособленіи глаза къ близкимъ разстояніямъ.

1) **Зрачокъ съуживается.** Убѣдиться въ этомъ легко на первомъ встрѣчномъ глазѣ, съ нормальной способностью аккомодаціи, безъ всякихъ искуственныхъ пособій. Стоитъ только заставить кого нибудь смотрѣть то на близкій, то на далекій предметъ, и нельзя будетъ не замѣтить, что всякій разъ, какъ глазъ смотритъ вблизь, зрачекъ съуживается, а при смотрѣніи вдаль — расширяется.

---

*) Въ самомъ дѣлѣ, въ схематическомъ глазу величины перемѣщенія хрусталика должны были бы немногимъ уступать вышеописаннымъ величинамъ перемѣщенія сѣтчатки. Такъ, при передвиженіи предмета изъ безконечной дали на разстояніе 120 мм., хрусталикъ долженъ былъ бы перемѣститься миллим. на 1,5 кпереди; а такихъ громадныхъ перемѣщеній при нормальной аккомодаціи положительно не бываетъ.

Рядомъ съ движеніями зрачка происходятъ, по наблюденіямъ О. Беккера надъ альбиносомъ, измѣненія въ объемѣ рѣсничныхъ отростковъ. При аккомодаціи вблизь они сокращаются, а при аккомодаціи вдаль выпячиваются въ направленіи къ зрительной оси. Это происходитъ отъ двухъ противуположныхъ измѣненій условій притока крови къ рѣсничнымъ отросткамъ. При аккомодаціи вблизь рѣсничная мышца сжимаетъ артеріи, приносящія кровь къ отросткамъ, но не мѣшаетъ оттоку отъ нихъ крови—оттого спаденіе отростковъ; при аккомодаціи вдаль обратное.

2) Зрачковый край радужной оболочки и плотно прилегающая къ нему передняя поверхность хрусталика подвигаются впередъ при аккомодаціи вблизь. Чтобы убѣдиться въ этомъ, наблюдаемый глазъ (у человѣка, подвергаемаго опыту, другой все время остается закрытымъ) заставляютъ смотрѣть попеременно на двѣ, различно удаленныя, но лежащія въ одномъ направленіи съ зрительной осью, точки и смотрятъ на него сбоку такимъ образомъ, чтобы при фиксированіи далекаго предмета оваль зрачка еле-былъ видимъ, т. е. чтобы онъ представлялся въ видѣ черной вертикальной полоски. Когда глазъ начинаетъ смотрѣть вблизь—полоска эта расширяется, притомъ свѣтлое пространство между нею и отѣненнымъ переднимъ очертаніемъ роговой оболочки уменьшается. Оба эти факта явно указываютъ на передвиженіе плоскости зрачка кпереди. Гельмгольтцъ сдѣлалъ на двухъ глазахъ приблизительное опредѣленіе этой величины для самой сильной аккомодаціи и нашелъ ее въ одномъ случаѣ = 0,36 мм., а въ другомъ = 0,44 мм.

3) Наружный край радужной оболочки отодвигается при аккомодаціи вблизь кзади. По Крамеру, на дѣтскихъ глазахъ это видно непосредственно, безъ всякихъ искуственныхъ пособій. Но кромѣ того такое отодвиганіе есть механическая необходимость, съ той минуты, какъ

доказана неподвижность, при аккомодаціи, роговой оболочки и перемѣщеніе, при смотрѣніи вблизь, передней поверхности хрусталика кпереди. — Послѣднее перемѣщеніе было бы въ самомъ дѣлѣ невозможно, если бы водянистая влага глазной камеры, вытѣсняемая изъ средины кпереди, не имѣла возможности отодвинуть наружныхъ частей райка кзади.

4) **Кривизна передней поверхности хрусталика, при смотрѣніи вблизь, увеличивается.** Это доказывается измѣненіемъ величины зеркальнаго отраженія отъ передней поверхности хрусталика. Если передъ наблюдаемымъ глазомъ поставить, нѣсколько сбоку отъ его оси, зажженную свѣчу и затѣмъ подъ такимъ же угломъ съ противуположной стороны смотрѣть въ глазъ, то въ послѣднемъ можно видѣть (рис. 36)

Рис. 36.



три зеркальныхъ изображенія пламени. Самое свѣтлое изъ нихъ, котораго нельзя не замѣтить тотчасъ же самому неопытному наблюдателю, лежитъ всего ближе къ сторонѣ свѣчки; оно отражается отъ передней поверхности роговой оболочки и потому прямое. Это изображеніе (при смотрѣніи въ глазъ сбоку) можетъ выступать изъ предѣловъ зрачка, не исчезая. Что же касается до двухъ другихъ образовъ, то ихъ никогда нельзя увидѣть внѣ зрачка, потому что они отражаются отъ поверхностей, лежащихъ позади радужной оболочки. Если перемѣнить положеніе наблюдающаго глаза такимъ образомъ, чтобы эти изображенія, по законамъ перспективы, должны были выйти изъ рамки зрачка, — они исчезаютъ. Оба образа несравненно темнѣе перваго, такъ что вообще нужна опытность и нѣкоторое вниманіе, чтобы ихъ увидѣть. Для этого комната, гдѣ производится опытъ, должна быть совсѣмъ темной и вблизи не должно находиться никакихъ свѣтлыхъ предметовъ, которые могли бы обусловить другія, сбивающія съ толку отраженія отъ роговой оболочки.

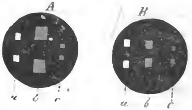
При симметрическомъ расположенiи наблюдающаго глаза и свѣчки большее изъ двухъ темныхъ изображенiй лежитъ приблизительно въ серединѣ зрачка. Оно происходитъ вслѣдствiе зеркальнаго отраженiя отъ передней поверхности хрусталика, и потому тоже прямое, такъ какъ эта поверхность выпукла; притомъ оно нѣсколько больше зеркальнаго отраженiя отъ роговой оболочки, но такъ блѣдно и неясно, что въ немъ съ трудомъ можно различить образъ пламени. Третье изображенiе лежитъ какъ будто нѣсколько ближе къ сторонѣ наблюдающаго глаза. Происходя отъ зеркальнаго отраженiя вогнутой поверхностью, хрусталика, оно рисуется въ обратномъ видѣ; и всегда меньше отраженнаго образа отъ роговой оболочки, но нѣсколько ярче средняго изображенiя отъ передней поверхности хрусталика. На рис. 36 мы видимъ всѣ три отраженные образы такъ, какъ они являются въ очертанiи зрачка, когда наблюдающiй глазъ и свѣчка стоятъ симметрично относительно наблюдаемаго глаза. Среднiй образъ лежитъ довольно далеко (8—12 мм.) позади плоскости зрачка. Онъ поэтому подвигается въ перспективѣ очень значительно къ краю зрачка, при измѣненiи положенiя наблюдающаго глаза. Третье, обратное изображенiе подвигается при этомъ лишь слабо, потому что его мѣсто совпадаетъ приблизительно съ плоскостью зрачка.

Если внимательно смотрѣть на среднiй образъ въ то время, какъ наблюдаемый глазъ приспособляется къ близкому разстоянiю, то нельзя не замѣтить, что онъ становится значительно меньше. Это и служитъ доказательствомъ, что выпуклость передней поверхности хрусталика увеличивается при смотрѣнiи близь. Извѣстно, въ самомъ дѣлѣ, что выпуклое сферическое зеркало даетъ при прочихъ равныхъ условiяхъ тѣмъ меньшее изображенiе предмета, чѣмъ оно выпуклѣе, т. е. чѣмъ меньше его радiусъ кривизны.

Уменьшенiе зеркальнаго изображенiя отъ передней по-

верхности хрусталика, при аккомодаціи вблизь, всего легче замѣтить при условіи, если свѣтящимся предметомъ взять два освѣщенныхъ четыреугольныхъ отверстія въ ширмѣ, стоящихъ отвѣсно другъ надъ другомъ, какъ это показано на рис. 37. *A* соотвѣтствуетъ состоянію глаза, при которомъ онъ смотритъ вдаль, *B*—аккомодаціи вблизь. При послѣд-

Рис. 37.



немъ условіи зеркальныя изображенія отъ передней поверхности хрусталика (*b*) не только уменьшаются по величинѣ каждое въ отдѣльности, но и сближаются между собою. Прочія же изображенія (*a* и *c*) остаются безъ ощутимыхъ измѣненій.

Измѣренія аккомодативныхъ измѣненій хрусталика были произведены Гельмгольтцомъ путемъ сравненія зеркальныхъ изображеній отъ его передней поверхности съ зеркальнымъ отраженіемъ другаго предмета отъ роговой оболочки. Опытъ устроивался такъ, чтобы оба отраженныхъ образа сдѣлать на глазъ совершенно равными между собою, и затѣмъ офтальмометръ уже опредѣлялъ изъ величины образа на роговой оболочкѣ кажущуюся величину образа на передней поверхности хрусталика — кажущуюся потому, что она измѣняется отъ преломленія въ водянистой влагѣ и роговой оболочкѣ. Если однако извѣстна кажущаяся величина этаго изображенія, величина соотвѣтствующаго предмета и его разстояніе отъ глаза, если далѣе извѣстны кривизна роговой оболочки, коэффиціентъ преломленія водянистой жидкости и разстояніе

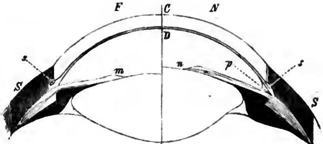
рогоной оболочки отъ передней поверхности хрусталика, то легко вычислить радіусъ кривизны послѣдней. Слѣдовательно опыть даетъ два измѣренія величины изображенія — одно при приспособленіи глаза къ далекому разстоянію, другое при приспособленіи его къ близкому,—а по нимъ можно уже опредѣлить искомый радіусъ кривизны для обоихъ состояній глаза. Гельмгольтцъ нашелъ въ одномъ случаѣ, что радіусъ кривизны передней поверхности хрусталика уменьшался съ 11,9 мм. на 8,6 мм., когда глазъ съ аккомодаціи вдаль переходилъ къ смотрѣнію вблизь. Въ другомъ тотъ же радіусъ падалъ съ 8,8 на 5,9 мм.

5) Кривизна задней поверхности хрусталика при аккомодаціи вблизь тоже увеличивается, но очень слабо, притомъ задняя верхушка остается замѣтно на одномъ мѣстѣ. Это положеніе доказывается измѣненіями третьяго, обратнаго зеркальнаго отраженія, которое при аккомодаціи глаза вблизь нѣсколько уменьшается. Такъ какъ однако на его величину имѣютъ вліяніе измѣненія въ передней поверхности хрусталика, то уменьшеніе этаго образа не можетъ быть отнесено непосредственно къ уменьшенію радіуса кривизны задней поверхности; поэтому высказанное нами выше положеніе найденное Гельмгольтцомъ, можетъ быть доказано лишь путемъ очень сложнаго физико-математическаго разсужденія.

И такъ, всѣ форменныя измѣненія хрусталика, при аккомодаціи вблизь, могутъ быть сведены на утолщеніе его въ срединѣ (спереди назадъ) и на одновременное укороченіе его діаметровъ въ экваторіальной плоскости, такъ какъ объемъ хрусталика не измѣняется при этомъ замѣтнымъ образомъ.

Рис. 38 показываетъ всѣ форменныя измѣненія хрусталика нагляднымъ образомъ въ разрѣзѣ по меридіану. Здѣсь обрисованъ лишь передній отдѣлъ глаза. Справа отъ оси подъ N изображены части его, какъ онѣ лежатъ при ак-

Рис. 38.



комодаціи вблизь; слѣва — ихъ расположеніе при смотрѣніи вдаль. Всѣ размѣры увеличены въ 5 разъ противъ размѣровъ, найденныхъ Гельмгольтцомъ на живомъ глазѣ.

Аккомодація вдаль.

§ 24 Разобранныхъ нами измѣненій въ формѣ хрусталика вполнѣ достаточно, для объясненія діоптрическаго эффекта аккомодаціи вблизь. Это доказывается тѣмъ, что на глазахъ съ измѣренною величиною измѣненій кривизны хрусталика при аккомодаціи вблизь, предѣлъ ближайшаго яснаго видѣнія, выведенный теоретически, всегда довольно точно совпадаетъ съ результатами прямыхъ наблюденій на томъ же самомъ глазѣ. Поэтому нѣтъ основанія искать дальнѣйшихъ измѣненій въ глазу, для объясненія аккомодаціи вблизь; тѣмъ болѣе, что въ новѣйшее время доказана самымъ положительнымъ образомъ (Дондерсъ и Кнаппъ) невозможность аккомодаціи, при отсутствіи хрусталика [для этого Дондерсъ заставлялъ людей съ вынутымъ хрусталикомъ смотрѣть черезъ приличной формы стекло на свѣтящійся предметъ и они не замѣчали разницы въ величинѣ послѣдняго, дѣлали ли аккомодативное усиліе, или нѣтъ]. Дѣло другаго рода, когда вопросъ коснется способа приспособленія глаза къ далекимъ разстояніямъ, т. е. перехода его отъ разсматриванія близкихъ предметовъ къ фиксированію далекихъ. — Здѣсь уму представляются a priori двѣ возможности: или особеннаго

механизма для этого несуществуетъ, и тогда названный переходъ совершается путемъ прекращенія дѣятельности аппарата, приспособившаго глазъ къ близкому предмету; или онъ есть — и тогда аккомодація вдаль есть процессъ столько же активный, какъ приспособленіе вблизь, но только совершенно обратный послѣднему. Наблюденія надъ людьми (Т. Веберъ) говорятъ въ пользу послѣдней возможности: разсматриваніе очень далекихъ предметовъ связано у людей съ такими же ощущеніями усилія въ глазу, какъ и разсматриваніе близкихъ; притомъ оно сопровождается чувствомъ усталости, если продолжается долго; наконецъ извѣстно, что путемъ упражненія можно изощрить способность приспособленія глаза къ далекимъ разстояніямъ. — Всѣ эти факты могутъ быть объяснены лишь предположеніемъ, что при аккомодаціи вдаль сокращаются мышцы. Нужно впрочемъ замѣтить, что предѣлы этой дѣятельности уже теоретически должны быть очень ограниченны: съ одной стороны, по опытамъ Фолькманна, покоющійся глазъ приспособленъ скорѣе къ далекимъ, чѣмъ къ среднимъ разстояніямъ *), а съ другой читатель видѣлъ, что перемѣщенія изображеній спереди назадъ бываютъ чрезвычайно ничтожны при передвиженіи предметовъ изъ безконечной дали на разстояніе въ 12 метр. отъ глаза. Слѣдовательно мышечный механизмъ для аккомодаціи вдаль вообще не можетъ быть дѣятельнымъ при разсматриваніи предметовъ, лежащихъ

*) Опытъ для этого дѣлается такъ: передъ глазомъ, въ направленіи зрительной оси натягивается горизонтально или нѣсколько наклонно длинная нитка, и глазъ смотритъ на нее, какъ въ Шейнеровскомъ опытѣ, черезъ карту съ двумя булавочными отверстіями. Тогда точка нитки, къ которой приспособленъ глазъ, кажется одинокой, а всѣ прочія двойными, такъ что кажется, будто передъ глазомъ двѣ нитки, перекрещивающіяся подъ очень острымъ угломъ. Разстояніе одинокой точки отъ глаза, соотвѣтствующее условію, когда онъ смотритъ на нитку безъ всякихъ усилій, будетъ очевидно соотвѣтствовать разстоянію, къ которому приспособленъ глазъ въ покойномъ состояніи. Чтобы вѣрнѣе найти послѣднее, глазъ передъ опытомъ закрываютъ, и первое разстояніе, на которомъ глазъ видитъ одинокую точку, считаютъ искомымъ.

близко отъ глаза (т. е. когда дальній предметъ, на который глазъ переходитъ отъ болѣе близкаго, лежитъ все-таки недалеко отъ глаза), — здѣсь цѣль вполнѣ достигается уже однимъ разслабленіемъ аппарата, приспособляющаго вблизь.— и роль его можетъ начинаться лишь за предѣломъ видѣнія, соотвѣтствующимъ аккомодаціи покоющагося органа. Границы отрицательнаго приспособленія вдаль не опредѣлены; механическая же сторона процесса могла бы заключаться только въ уплощеніи хрусталика, вслѣдствіе удлинненія его діаметровъ въ экваторіальной плоскости (Heiberg)

Мышцы, производящія аккомодацію

§ 25. Описавъ механическую сторону, или правильнѣе внутреглазные эффекты аккомодативныхъ движеній, посмотримъ теперь, какими силами вызываются всѣ перечисленныя измѣненія райка и хрусталика.

Силы эти очевидно должны быть мышечныя. За это, сверхъ подчиненности аккомодативныхъ движеній волѣ, говоритъ еще продолжительность ихъ, соотвѣтствующая быстротѣ мышечнаго сокращенія. *) И конечно аккомодація мо-

*) Быстрота аккомодативныхъ движеній была опредѣляема Фолькманомъ, Фирордтомъ и Эби. Послѣдній измѣрялъ ее слѣдующимъ образомъ. Фиксируемымъ предметомъ, который разсматривался всегда однимъ глазомъ, служила верхушка иглы на свѣтломъ полѣ. Измѣрительный снарядъ заключался въ гальваническомъ токѣ, который быстро замыкался и размыкался движеніемъ руки, при началѣ и концѣ аккомодаціи, и приводилъ въ соприкосновеніе пишущій снарядъ съ накопченною поверхностью равномѣрно вращающагося цилиндра. Длина линіи на послѣднемъ соотвѣтствовала продолжительности приспособительнаго акта. Этимъ путемъ найдено, что вообще аккомодація вблизь требуетъ болѣе времени, чѣмъ противуположное движеніе, и что продолжительность акта увеличивается съ приближеніемъ разсматриваемаго предмета къ глазу. Вотъ нѣкоторыя изъ чиселъ Эби:

Приспособленіе въ ту и другую сторону.	Продолжительность приспособленія.	
	вблизь	вдаль
съ 430 — 270 мм.	0,540 сек.	0,220 сек.
» 190 — 150 »	0,547 »	0,180 »
» 130 — 120 »	0,545 »	0,179 »
» 270 — 130 »	0,877 »	0,457 »
» 190 — 120 »	0,868 »	0,475 »

жетъ быть произведена только мышцами, лежащими внутри глазнаго яблока, такъ какъ выше было доказано, что въ актѣ приспособленія внѣшніе двигатели глаза не принимаютъ прямаго участія.

Изъ всѣхъ теорій, объясняющихъ аккомодативныя движенія дѣятельностью мышцъ райка и волоконъ m. tensoris chorioid., самою вѣрною оказалась теорія Гельмгольтца, (съ прибавкою Гейнр. Мюллера). По этой теоріи главную роль въ аккомодаціи вблизь играютъ экваторіальныя и меридіанныя (относительно оси глаза, идущей сзади напередъ) волокна мышцы, натягивающей сосудистую оболочку. Первыя, охватывая, какъ кольцо, окружность хрусталика, давятъ при своемъ сокращеніи прямо на его края и производятъ этимъ одновременное укороченіе всѣхъ его экваторіальныхъ діаметровъ; отсюда утолщеніе хрусталика и усиленіе выпуклости его обѣихъ поверхностей. Меридіанныя же волокна дѣйствуютъ тѣмъ, что разслабляютъ пластинки Zonulae Zinnii, находящіяся при покоѣ глаза (т. е. при смотрѣніи вдаль) въ натянутомъ состояніи, и, сжимая съ боковъ стекловидное тѣло, препятствуютъ передвиженію задней поверхности хрусталика, сдѣлавшейся болѣе выпуклою, кзади. Первый моментъ, т. е. разслабленіе Zonulae Zinnii, ведетъ, по мнѣнію Гельмгольтца, тоже къ утолщенію хрусталика, и къ увеличенію его выпуклости спереди: онъ нашелъ именно, (и это подтвердили впослѣдствіи измѣренія Кнаппа) что хрусталикъ, бываетъ на трупахъ, послѣ вырѣзыванія изъ тѣла, обыкновенно толще чѣмъ при жизни; а такъ какъ къ сумкѣ его прикрѣпляются только пластинки Zon. Zinn. и онѣ по своему положенію, въ случаѣ натяженія, могутъ удлиннить экваторіальные діаметры хрусталика и сдѣлать его площе, то Гельмгольтцъ и принялъ, что въ живомъ глазѣ, при покоѣ его, названныя пластинки дѣйствительно находятся въ натянутомъ состояніи. При этомъ условіи меридіанныя волокна m. ciliaris, очевидно

должны разслаблять пластинки, и хрусталикъ долженъ утолщаться уже подъ вліяніемъ собственной упругости.

Мышцы райка играютъ въ аккомодаціи положительно второстепенную роль, потому что Грефе наблюдалъ случай полнаго отсутствія радужной оболочки съ сохраненіемъ аккомодаціи. Дѣятельности ихъ приписываютъ давленіе спереди на наружныя части хрусталика, отчего середина его дѣлается еще болѣе выпуклою. Отодвиганіе же наружныхъ частей райка кзади, вслѣдствіе выпячиванія передней поверхности хрусталика впередъ, объясняютъ происходящимъ при этомъ выжиманіемъ крови изъ сосудовъ рѣсничнаго тѣла.

Что касается до мышечнаго механизма, приспособляющаго глазъ къ далекимъ разстояніямъ, то въ случаѣ его существованія, онъ можетъ быть данъ только мышечными волокнами (существованіе послѣднихъ еще сильно нуждается въ подтвержденіи) Цинновой пленки, открытыми Гейбергомъ.

Описанная картина внутреглазной мышечной дѣятельности, производящей аккомодацію вблизь. появилась въ наукѣ, не какъ продуктъ экспериментальной разработки предмета, а главнѣйшимъ образомъ какъ логическій выводъ изъ опредѣленія анатомическаго положенія внутреглазныхъ мышцъ, по отношенію къ прозрачнымъ средамъ глаза. И только въ самое послѣднее время появились опытныя изслѣдованія Фелькерса и Гензена надъ глазомъ собаки, подтвердившія самымъ блистательнымъ образомъ теорію Гельмгольтца. *)

*) До этихъ изслѣдованій въ наукѣ существовалъ лишь одинъ, да и тотъ косвенный, фактъ, говорившій въ пользу натянутаго состоянія Zonulae Zinnii при покоѣ глаза и разслабленія ея при аккомодаціи вблизь. Если глазъ переходитъ быстро отъ разсматриванія очень близкаго предмета къ фиксированію далекаго, то въ периферіи поля зрѣнія часто появляется узкое свѣтлое кольцо, указывающее на какое то механическое потрясеніе въ периферіи сѣтчатки (Purkinje). Потрясеніе это очень легко объясняется предположеніемъ, что разслабѣвшая при аккомодаціи вблизь Zon. Zinn. быстро переходитъ къ нормальному состоянію, когда аккомодація прекращается, и натягиваетъ край сѣтчатки, къ которому прикрѣпляется (Czermak).

Эти изслѣдователи обнажали со стороны виска рѣсничный узелъ, отдѣляли препарованіемъ рѣсничные нервы отъ зрительнаго, а n. oculomot. съ его мышечными вѣтвями перерѣзывали.

При раздраженіи рѣсничныхъ нервовъ по этимъ опытамъ происходитъ:

1) Съуженіе зрачка.

2) Увеличеніе давленія въ сферѣ стекловиднаго тѣла; это доказывается тѣмъ, что когда въ покоющемся глазу бѣлковая и сосудистая оболочки были прорѣзаны на столько, что изъ раны выпятился кусокъ стекловиднаго тѣла, то послѣдній при раздраженіи нервовъ выпячивался сильнѣе, а по прекращеніи раздраженія нѣсколько втягивался.

3) Передняя поверхность хрусталика значительно выступаетъ впередъ, а периферія райка подается наоборотъ назадъ. Оба движенія такъ рѣзки, что замѣтны при непосредственномъ наблюденіи черезъ прозрачную роговую оболочку. Они происходятъ медленнѣе, чѣмъ возвращеніе хрусталика и райка къ первоначальному положенію, по прекращеніи раздраженія (сходство съ нормальными явленіями, замѣченными Эби).

4) Задняя поверхность хрусталика тоже дѣлается болѣе выпуклою (подается кзади?); это опредѣлено изъ рычагообразныхъ движеній стекляннаго волоска, вколотаго въ глазъ сбоку такимъ образомъ, чтобы внутренній конецъ его прикасался къ задней поверхности хрусталика. Это движеніе однако незначительно въ сравненіи съ передвиженіемъ передней поверхности хрусталика.

5) Цинннова пленка разслабляется. Это доказывается слѣдующимъ: сбоку въ бѣлковой и сосудистой оболочкахъ прорѣзывается отверстіе, за тѣмъ около края corneae расщепляется по меридіану рѣсничная мышца и изъ подъ нея удаляются осторожно рѣсничные отростки; къ обнаженной

такимъ образомъ Цинновой пленкѣ подводятъ сзади стеклянный волосъ такъ, чтобы онъ упирался и натягивалъ ее. Движенія волоса при раздраженіи нервовъ, равно какъ по прекращеніи раздраженія, и доказываютъ 5-е положеніе.

6) Въ сосудистой оболочкѣ замѣчается передвиженіе кпереди. Это выводится изъ сравненія положеній двухъ стеклянныхъ волосковъ, изъ которыхъ одинъ втыкается въ сосудистую оболочку, а другой въ рѣсничную мышцу. Первый показываетъ передвиженіе частицъ кпереди; второй остается неподвижнымъ.

7) Подъ вліяніемъ сокращенія рѣсничной мышцы гребенчатая связка райка (lig. pectin. irid.) оттягивается назадъ, даже по удаленіи роговой оболочки; слѣдовательно не подъ вліяніемъ давленія со стороны жидкости передней камеры глаза, происходящаго отъ выпячиванія передней поверхности хрусталика.

Такимъ образомъ, въ сущности подтверждены всѣ положенія теоріи Гельмгольтца.

Объ иннерваціи аккомодативныхъ движеній см. прибавленія къ органу зрѣнія.

Предѣлы аккомодаціи и способъ ихъ опредѣленія.

§ 26. Подобно тому, какъ изученіе глазныхъ средъ въ діоптрическомъ отношеніи привело насъ къ схематическому глазу, какъ діоптрической нормѣ этого органа въ покоющемся состояніи, точно также ученіе объ аккомодаціи естественно должно закончиться установленіемъ нормы для величины аккомодативныхъ измѣненій глаза. Для этого за исходныя точки конечно всего выгоднѣе принять данныя схематическаго глаза, а за нормальныя величины аккомодативныхъ измѣненій среднія числа, выведенныя изъ прямыхъ опытовъ. Гельмгольтцъ такъ и поступилъ при составленіи приводимой ниже таблицы; только для толщины хрусталика взята не круглая, а истинная цифра, выведенная имъ изъ прямыхъ измѣреній. Мѣста преломляющихъ поверхностей и оптическихъ точекъ

отнесены къ верхушкѣ роговой оболочки, т. е. соотвѣтствующія имъ цифры обозначаютъ отстояніе этихъ поверхностей и точекъ отъ верхушки corneae.

ПРИНИМАЯ:	Аккомодація для далекаго разстоян.	близкаго разстоян.
Коэфиціентъ преломленія воздуха	1	1
Коэфиціентъ преломленія водяной жидкости	$\frac{103}{77}$	$\frac{103}{77}$
Коэфиціентъ преломленія хрусталика	$\frac{16}{11}$	$\frac{16}{11}$
Коэфиціентъ преломл. стекловид. тѣла	$\frac{103}{77}$	$\frac{103}{77}$
Радіусъ кривизны роговой оболочки	8	8
Радіусъ кривизны передней поверхности хрусталика	10	6
Радіусъ кривизны задней поверхности хрусталика	6	5,5
Мѣсто передней поверхности хрусталика.	3,6	3,2
Мѣсто задней поверхности хрусталика	7,2	7,2.
ВЫЧИСЛЕНО:		
Мѣсто перваго фокуса	— 12,918	— 11,241
Мѣсто первой главной точки	1,9403	2,0330
Мѣсто второй главной точки	2,3563	2,4919
Мѣсто первой узловой точки	6,957	6,515
Мѣсто второй узловой точки	7,373	6,974
Мѣсто задняго фокуса	22,231	20,248.

По даннымъ этой таблицы уже легко найти предѣлъ аккомодаціи нормальнаго глаза, т. е. опредѣлить тѣ два крайнихъ предѣла (ближайшій и наиболѣе удаленный) удаленія отъ него предметовъ, при которыхъ они могутъ еще давать совершенно ясныя изображенія на сѣтчаткѣ. Дальній предѣлъ данъ въ схематическомъ глазѣ непосредственно, такъ какъ послѣдній считается приспособленнымъ къ безконечности, т. е. къ параллельнымъ лучамъ. Ближайшій же предѣлъ легко вычисляется по даннымъ 2-го столбца въ приведенной таблицѣ, если къ нимъ прибавить еще отстояніе сѣтчатки отъ роговой оболочки, равняющееся въ схематическомъ глазѣ

22,231 мм. Величина эта по вычисленію равняется 130,09 мм. Это и есть ближайшій предѣлъ яснаго видѣнія для идеальнаго глаза. Онъ совпадаетъ впрочемъ и съ соотвѣтствующею величиною нормальныхъ глазъ.

Предѣлы яснаго видѣнія у человѣка могутъ быть опредѣлены въ каждомъ частномъ случаѣ на нѣсколько ладовъ. Для этого можно наприм. воспользоваться формою Шейнеровскаго опыта, т. е. заставлять смотрѣть изслѣдуемый глазъ черезъ два маленькихъ отверстія на какой-нибудь мелкій предметъ, то приближаемый, то удаляемый отъ глаза. Два крайнія отстоянія предмета, при которыхъ онъ можетъ еще быть видимымъ одиноко, будутъ искомыя величины. Въ случаѣ, если изслѣдуемый глазъ способенъ приспособляться къ безконечной дали, т. е. къ параллельнымъ лучамъ, это можетъ быть узнано тѣмъ, что между глазомъ и ширмой помѣщается двояковыпуклая чечевица, а предметъ ставится въ фокусъ послѣдней. — Если при этомъ условіи глазъ можетъ видѣть предметъ ясно, значитъ онъ способенъ приспособляться къ безконечности.

Еще проще, или по крайней мѣрѣ практичнѣе, способъ, предлагаемый Гельмгольтцомъ. Глазъ смотритъ на маленькое отверстіе въ ширмѣ, позади котораго горитъ свѣчка. Свѣтлая точка кажется глазу звѣздою, пока онъ не принаровленъ къ ней, въ противномъ случаѣ края свѣтлаго отверстія представляются совершенно ровными.

У офталмологовъ есть даже инструменты для опредѣленія предѣловъ яснаго видѣнія. Они извѣстны подъ именемъ оптометровъ.

Мѣра аккомодативной способности. § 27. Не менѣе важно въ практическомъ отношеніи установленіе мѣры, или числовой величины, для аккомодативной способности глаза, потому что тогда является возможность сравнивать съ этой стороны различные глаза между собою, а отсюда уже вытекаетъ возможность опредѣленія

величины пороковъ аккомодативной способности въ патологическихъ случаяхъ.

Мѣра эта установлена Дондерсомъ. Онъ разсуждаетъ такъ: внѣшній эффектъ аккомодативной способности выражается длиною пространства яснаго видѣнія (Accomodationsbreite), т. е. разстояніемъ между точками дальняго и ближайшаго видѣнія; производится же этотъ эффектъ исключительно увеличеніемъ кривизны хрусталика; стало быть его можно представить себѣ такъ, какъ будто, при переходѣ глаза отъ дальнѣйшей точки видѣнія къ ближайшей, къ передней поверхности хрусталика былъ приложенъ менискъ (т. е. выпукло-вогнутая чечевица), помогающій собиранію лучей отъ ближайшаго предмета на сѣтчаткѣ. За мѣру аккомодативной способности глаза и можетъ быть взята діоптрическая способность соотвѣтствующаго мениска. Понятно однако, что тотъ же аккомодативный эффектъ можетъ быть достигнутъ и инымъ путемъ: вмѣсто мениска, прикладываемаго непосредственно къ поверхности хрусталика, можно поставить непосредственно передъ глазомъ (т. е. передъ роговой оболочкой), аккомодированнымъ къ дальней точкѣ, такую собирательную чечевицу (двояковыпуклое стекло), чтобы при посредствѣ ея лучи отъ ближайшей точки яснаго видѣнія падали на сѣтчатку. Діоптрическая способность такой чечевицы опять можетъ быть принята за мѣру аккомодативной способности глаза, но уже подъ условіемъ, если величина эта мало отличается отъ соотвѣтствующей величины мениска *), или находится съ нею въ постоянномъ отношеніи.

Дондерсъ сравнилъ числовыя выраженія для обѣихъ величинъ на глазахъ, измѣренныхъ Гельмгольтцомъ и Кнап-

*) А онѣ не могутъ не отличаться другъ отъ друга уже потому, что собирательная чечевица находится въ воздухѣ, а менискъ въ водянистой влагѣ; кромѣ того въ этихъ двухъ случаяхъ распредѣленіе оптическихъ точекъ въ глазу становится различнымъ.

номъ, и нашелъ среднимъ числомъ, что $\frac{1}{A} : \frac{1}{l'} = \frac{1}{9} : \frac{1}{10}$; если A есть фокусное разстояніе собирательной чечевицы, а l' фокусное разстояніе мениска.

Этимъ была доказана возможность **принять за мѣру аккомодативной способности глаза діоптрическую способность собирательной чечевицы, преломляющей лучи изъ ближайшей точки яснаго видѣнія такимъ образомъ, какъ будто они выходили изъ дальнѣйшей точки яснаго видѣнія.**

Но діоптрическая способность всякой чечевицы, какъ величина обратно пропорціональная главной фокусной длинѣ, должна имѣть выраженіе $\frac{1}{A}$, если A есть эта фокусная длина. А съ другой стороны, наша чечевица по условію должна преломлять лучи, выходящіе изъ точки ближайшаго видѣнія, такимъ образомъ, чтобы они сходились въ точку дальнѣйшаго — другими словами, она должна разсѣевать перваго рода лучи, — слѣдовательно, отстоянія предѣловъ яснаго видѣнія отъ чечевицы *) (пусть отстояніе дальней точки будетъ R, а ближайшей P) могутъ быть разсматриваемы, какъ сопряженныя фокусныя длины, между которыми величина отстоянія дальней точки (т. е. величина R) должна быть взята съ отрицательнымъ знакомъ. Поэтому выраженіемъ для аккомодативной способности глаза будетъ на основаніи формулы (R) (стр. 65)

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}.$$

Въ этомъ уравненіи числовую величину A всего удобнѣе выражать въ парижскихъ дюймахъ, потому что до сихъ поръ фокусныя длины чечевицъ, и особенно очковъ, выражаются въ этой мѣрѣ.

*) Собственно говоря, отъ узловой точки упрощеннаго глаза, которая лежитъ около 3''' позади передней поверхности роговой оболочки.

На основаніи сказаннаго, числовымъ выраженіемъ для аккомодативной способности глаза, у котораго дальній предѣлъ видѣнія лежитъ безконечно далеко, а ближайшій — въ разстояніи 4 пар. дюйм., будетъ дробь $^1/_4$. Такой глазъ Дондерсъ считаетъ нормальнымъ.

Недостатки глаза, вытекающіе изъ неправильностей его устройства.

Выше, при составленіи общаго плана изслѣдованія глаза въ діоптрическомъ отношеніи, было замѣчено, что для полнаго знакомства со всякимъ оптическимъ (да и вообще съ какимъ бы то ни было) инструментомъ требуется тщательное изученіе его недостатковъ. — Только при этомъ условіи является возможность болѣе или менѣе полнаго устраненія ихъ, и слѣдовательно безошибочное употребленіе инструмента.

Такъ же должно конечно поступать и относительно глаза, тѣмъ болѣе, что въ немъ неправильности несравненно рѣзче, чѣмъ въ какомъ бы то ни было искуственномъ оптическомъ инструментѣ. Ученіе о недостаткахъ нашего органа принадлежитъ однако, по самому смыслу вещей, къ области глазной патологіи; поэтому здѣсь будетъ говориться только о самыхъ главныхъ изъ нихъ, притомъ лишь въ общихъ чертахъ.

Такъ какъ діоптрическій снарядъ глаза состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ аппаратовъ, преломляющаго и аккомодирующаго, то всѣ пороки его, очевидно, сводятся на двѣ главныхъ категоріи недостадковъ. Къ первой будутъ принадлежать: недостатки, вытекающіе изъ формы преломляющихъ поверхностей — сферическая и хроматическая аберрація; послѣдствія неправильности этихъ формъ — астигматизмъ; недостатки, вытекающіе изъ неправильнаго расположенія преломляющихъ поверхностей по оптической оси (неопредѣлены) и наконецъ послѣдствія не-

однородности вещества отдѣльныхъ глазныхъ средъ. Ко второй категоріи будутъ принадлежать недостатки аккомодаціи.

Явленія сферической аберраціи въ глазу не могутъ быть значительны уже по той причинѣ, что преломляющая способность глазныхъ средъ ниже, чѣмъ въ стеклѣ; кромѣ того радужная оболочка со зрачкомъ представляетъ очень цѣлесообразную діафрагму для устраненія отъ сѣтчатки лучей, значительно уклоняющихся отъ оптической оси.—Наконецъ, недостатокъ этотъ, если онъ и существуетъ, такъ незначителенъ въ сравненіи съ пороками, вытекающими изъ неправильности формъ преломляющихъ поверхностей, что онъ совершенно затемняется послѣдними.

Дѣло другаго рода съ явленіями цвѣтнаго свѣторазсѣянія; при извѣстныхъ условіяхъ они въ глазу такъ рѣзки, что на нихъ нельзя не остановиться.

Цвѣтное свѣторазсѣяніе въ глазу.

§ 28. Хроматическая аберрація, или цвѣтное свѣторазсѣяніе, происходитъ, какъ извѣстно, отъ того, что большая часть источниковъ свѣта посылаетъ одновременно лучи различной преломляемости, отличающіеся другъ отъ друга и съ физіологической стороны разностью цвѣтоваго ощущенія. Отъ точки, посылающей такіе смѣшанные лучи, не можетъ быть получено, строго говоря, ни въ какой діоптрической системѣ одного образа, въ смыслѣ нашего опредѣленія. Если лучи одного рода и соединятся въ какой нибудь одной точкѣ, то лучи другаго соединятся уже не совершенно точно въ томъ же мѣстѣ. Посредствомъ особыхъ комбинацій можно однако добиться того, чтобы точки соединенія лучей двухъ различныхъ цвѣтовъ совпадали между собою и чтобы соотвѣтствующія точки остальныхъ спектральныхъ цвѣтовъ лежали по крайней мѣрѣ не далеко отъ этаго фокуса. Если это въ большей или меньшей степени достигнуто въ оптическомъ инструментѣ, послѣдній называютъ „ахроматическимъ“. Главное условіе для достиженія этой

цѣли должно очевидно заключаться въ томъ, чтобы не всѣ преломленія, претерпѣваемыя лучемъ въ прозрачныхъ средахъ, отклоняли его въ одну и туже сторону. — Иначе, лучи различной преломляемости, заключенные въ бѣломъ или вообще смѣшанномъ свѣтѣ, удалялись бы при каждомъ послѣдующемъ преломленіи все болѣе и болѣе другъ отъ друга, все равно, имѣли ли бы прозрачныя среды одинаковую разсѣевающую способность, или нѣтъ. Въ глазу мы и находимъ последнее условіе. Лучь, идущій напримѣръ слѣва отъ оси и параллельно ей, отклоняется при каждомъ послѣдующемъ преломленіи дальше и дальше вправо, и никогда въ противуположномъ направленіи. Стало быть различно преломляющіяся части луча, если онъ не однородный, расходятся все далѣе и далѣе. Объ ахроматизмѣ въ глазу поэтому не можетъ быть и рѣчи.

Правда, часто утверждали, что цвѣтное свѣторазсѣяніе въ глазу уменьшается особыми условіями; однако только разъ было положительно высказано, что преломленіе совершается въ немъ въ различныхъ направленіяхъ. Именно Валле, приписывающій глазу ахроматизмъ, принимаетъ, что слои хрусталика имѣютъ тѣмъ слабѣйшую преломляемость, чѣмъ глубже они лежатъ. Въ такомъ случаѣ ахроматизмъ былъ-бы дѣйствительно возможенъ. Но мы знаемъ, что это предположеніе не вѣрно, и потому скоро увидимъ, что фактически цвѣтное свѣторазсѣяніе въ глазу не слабѣе, чѣмъ можно думать a priori.

Цвѣтное свѣторазсѣяніе въ оптическихъ инструментахъ съ короткими фокусными разстояніями вообще не бываетъ очень велико. На этомъ основаніи въ окулярахъ зрительныхъ трубокъ и микроскоповъ не обращаютъ обыкновенно большаго вниманія на ахроматизмъ, тогда какъ употребляютъ всевозможныя усилія для удаленія цвѣтнаго свѣторазсѣянія въ объективахъ съ далекимъ фокуснымъ разстояніемъ. Кромѣ

того вода разсѣеваетъ гораздо меньше, чѣмъ стекло. Въ глазу мы имѣемъ инструментъ съ очень короткимъ фокуснымъ разстояніемъ; а съ другой стороны преломляющія среды его, относительно разсѣевающей способности, стоятъ ближе къ водѣ, чѣмъ къ стеклу; слѣдовательно здѣсь и нельзя ждать очень сильнаго цвѣтнаго свѣторазсѣянія. И дѣйствительно въ глазу обыкновенно вовсе не замѣчается его послѣдствій, но доказать существованіе хроматизма при нѣкоторыхъ особыхъ условіяхъ все таки очень легко.

§ 29. Фраунгоферъ и позднѣе Гельмгольтцъ дѣлали измѣренія надъ различіемъ фокусныхъ разстояній въ глазу для лучей различнаго цвѣта. Первый нашелъ, что когда его глазъ былъ аккомодированъ для параллельныхъ лучей красно-оранжеваго цвѣта (въ линіи *c* солнечнаго спектра), сине-фіолетовые лучи (линія *g* солнечнаго спектра) должны были расходиться изъ точки, удаленной на 18—24 парижскихъ дюймовъ отъ глаза, чтобы соединиться на сѣтчатой оболочкѣ. Другими словами, въ то самое время, какъ предметъ, изъ котораго выходили оранжевые лучи, могъ быть видѣнъ ясно съ безконечнаго разстоянія, предметъ, окрашенный въ синій цвѣтъ, долженъ былъ находиться въ 18—24 дюймахъ отъ глаза, чтобъ быть ясно видимымъ. Самое далекое разстояніе, съ котораго Гельмгольтцъ могъ видѣть точку, посылавшую красные лучи, равнялось 8 футамъ, для фіолетовыхъ лучей это разстояніе равнялось 18 дюймамъ, а для точки, испускавшей крайніе ультрафіолетовые лучи спектра,— лишь нѣсколькимъ дюймамъ.

При обыкновенномъ зрительномъ актѣ это обстоятельство становится всего замѣтнѣе, когда глазъ имѣетъ дѣло съ предметами, изъ которыхъ выходитъ два рода лучей, лежащихъ далеко другъ отъ друга въ солнечномъ спектрѣ. Такой объектъ легко осуществить посредствомъ фіолетоваго или голубаго стекла. Эти стекла въ томъ видѣ, какъ они обык-

новенно встрѣчаются въ продажѣ, поглащаютъ въ значительной степени средніе (желтые и зеленые) лучи спектра, а пропускаютъ свободно красные, голубые и фіолетовые. Такое стекло нужно вставить въ круглое отверстіе черной ширмы, а позади его помѣстить источникъ бѣлаго свѣта (горящую лампу или ясное небо); отверстіе это и будетъ предметомъ, посылающимъ изъ каждой точки красные и голубые лучи. Если глазъ приспособленъ, при данномъ разстояніи отверстія, къ первымъ, то голубые лучи образуютъ круги свѣторазсѣянія на сѣтчатой оболочкѣ, потому что они, какъ болѣе преломляемые, собираются въ фокусъ впереди послѣдней. Отверстіе кажется, вслѣдствіе этого, окруженнымъ голубой каймой. Кайма появляется и въ томъ случаѣ, если глазъ приспособленъ къ какому нибудь предмету, лежащему далѣе отверстія. Въ послѣднемъ случаѣ и красные лучи каждой точки образуютъ круги свѣторазсѣянія, но они меньше голубыхъ. Если, наоборотъ, глазъ приспособленъ къ слишкомъ близкому разстоянію или только къ голубому цвѣту отверстія, то послѣднее бываетъ окружено красной каймой, потому что тогда красные лучи сходятся за сѣтчаткой.

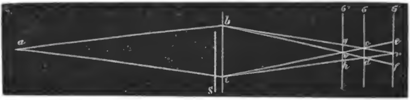
Аналогическое явленіе можетъ быть наблюдаемо при разсматриваніи бѣлаго предмета на черномъ полѣ. Если онъ лежитъ за предѣломъ аккомодаціи глаза къ среднимъ лучамъ спектра, то бываетъ окруженъ голубой каймой, въ противуположномъ случаѣ — желто-красной. Чтобы видѣть предметъ безъ всякой цвѣтной каймы, нужно вообще, чтобы онъ лежалъ въ предѣлахъ аккомодаціи глаза къ среднимъ лучамъ солнечнаго спектра. Слѣдуетъ впрочемъ замѣтить, что при бѣломъ освѣщеніи разноцвѣтныя каймы очень мало замѣтны, такъ что неопытный глазъ проглядываетъ ихъ вовсе.

Если зрачекъ прикрыть ширмой на половину или болѣе, то явленія цвѣтнаго свѣторазсѣянія становятся очень ясными и при бѣломъ освѣщеніи. Граница между бѣлымъ и чернымъ

полемъ кажется тогда окаймленной желтымъ цвѣтомъ, если закрыть зрачекъ со стороны чернаго поля, и голубымъ, если онъ закрытъ со стороны бѣлаго. Глазъ можетъ при этомъ быть аккомодированъ на любое разстояніе. Эти два явленія можно воспроизвести каждое мгновеніе разомъ. Стоитъ только однимъ глазомъ смотрѣть на горизонтальный переплетъ окна, рисующійся темной (черной) полосой на свѣтломъ фонѣ неба. Если при этомъ снизу подвигать передъ глазомъ листъ бумаги, или какую нибудь непрозрачную ширму и закрыть ею нижнюю часть зрачка, то нижній край оконнаго переплета будетъ имѣть голубую, а верхній желтую кайму. Это явленіе вполнѣ соотвѣтствуетъ вышеприведеннымъ законамъ, потому что для нижняго края рамы (гдѣ бѣлое поле снизу, а черное сверху) зрачекъ закрытъ на сторонѣ бѣлаго поля, а для верхняго (гдѣ бѣлое поле сверху, а черное снизу) — онъ закрытъ со стороны чернаго поля. Если закрыть верхнюю часть зрачка, то, конечно, верхній край оконнаго переплета будетъ съ голубой каймой, а нижній съ желтой.

Объяснить это явленіе (которое можно видоизмѣнять на разные лады) очень легко. Пусть въ рис. 39 *a* будетъ

Рис. 39.



точка, дающая бѣлый свѣтъ, а *bi* поперечникъ зрачка, лежащій въ плоскости рисунка. Пусть далѣе *r* будетъ фокусомъ красныхъ лучей, выходящихъ изъ *a*. Въ такомъ случаѣ фіолетовые лучи, выходящіе изъ той же точки, соединятся уже раньше, приблизительно въ *v*. Еслибъ поэтому сѣтчатая оболочка лежала въ плоскости *σ'*, то только на точку *r* па-

дали бы всѣ лучи различной преломляемости; непосредственно вокругъ нея на маленькое кольцо — всѣ лучи, кромѣ краснаго; на дальнѣйшее кольцо — всѣ, кромѣ краснаго и оранжеваго; далѣе — всѣ лучи, кромѣ краснаго, оранжеваго и желтаго и т. д. Такимъ образомъ освѣщеніе плоскости σ' постоянно уменьшалось бы кнаружи, и у края круга съ діаметромъ *ef* *) лежали бы наконецъ одни фіолетовые лучи, образующіе самый большой кругъ свѣторазсѣянія. Поэтому кругъ *ef*, въ центрѣ котораго соединяется много различныхъ лучей вмѣстѣ, долженъ казаться въ срединѣ бѣловатымъ, а на краяхъ голубовато-фіолетовымъ, такъ какъ здѣсь встрѣчаются только наиболѣе преломляемые изъ всѣхъ лучей. Еслибы сѣтчатая оболочка находилась въ плоскости σ'', гдѣ соединяются фіолетовые лучи, на ней появился бы тоже кругъ свѣторазсѣянія и середина его опять казалась бы бѣлой; но въ окружности круга, по мѣрѣ приближенія къ краямъ, исчезали бы постепенно болѣе преломляемыя части бѣлаго свѣта, такъ что на краяхъ *gh* оставался бы еще только красный поясъ. Если, слѣдовательно, сѣтчатая оболочка лежитъ въ фокусѣ фіолетовыхъ лучей, или еще ближе кпереди, т. е. когда глазъ аккомодированъ для слишкомъ далекаго разстоянія, то кругъ свѣторазсѣянія бѣлой точки будетъ окаймленъ красноватой или желтоватой полоской. Когда наконецъ сѣтчатая оболочка будетъ находиться въ плоскости σ, гдѣ лежитъ приблизительно фокусъ зеленыхъ лучей, то кругъ свѣторазсѣянія будетъ вообще имѣть наименьшую величину (поперечникъ *cd*) и долженъ на всемъ своемъ протяженіи казаться почти бѣлымъ, такъ какъ каждая изъ его точекъ получаетъ смѣшанные лучи.

*) Строго говоря, мы не имѣетъ права считать линій *bf* и *ie*, равно какъ *br* и *ir* прямыми, потому что лучи преломляются еще позади зрачка, въ хрусталикѣ. Въ линіяхъ *ab* и *ai* слѣдуетъ тоже воображать переломъ не много впереди *b* и *i*, соотвѣтственно преломленію у роговой оболочки.

После этого уже понятно, почему цѣтныя каймы вокругъ бѣлаго предмета, не рѣзкія при открытомъ зрачкѣ, становятся замѣтными послѣ прикрытія его на половину. — Если въ S (рис. 39) будетъ поставлена ширма, закрывающая нижнюю часть зрачка, то на сѣтчатой оболочкѣ, все равно лежитъ ли она въ σ, σ' или σ'', образуется родъ призматическаго спектра. На точку c плоскости σ упадутъ теперь лишь красные лучи, идущіе черезъ b, потому что фіолетовые, шедшіе къ этому мѣсту черезъ i, перерѣзаны. Красный конецъ этого спектра будетъ лежать сверху, фіолетовый — снизу. Если остается открытой большая часть зрачка, то спектръ будетъ конечно очень нечистъ, т. е. будетъ почти на всемъ протяженіи бѣлымъ и только сверху и снизу окаймленъ красною и голубоватою полосками. Если же, наоборотъ, останется открытой только верхняя точка (b) зрачка, то спектръ будетъ довольно чистъ; по крайней мѣрѣ красный цвѣтъ сверху, а индиговый и фіолетовый снизу будутъ довольно густы. Понятно, что когда ширма закроетъ верхнюю половину зрачка, явленіе будетъ обратное: въ призматическомъ спектрѣ на сѣтчаткѣ фіолетовые лучи будутъ лежать выше, а красные ниже. Въ обоихъ же случаяхъ точка a будетъ казаться линіей съ окрашенными концами и положеніе послѣднихъ въ пространствѣ будетъ совершенно обратное тому, которое они занимаютъ на сѣтчаткѣ, т. е. въ первомъ случаѣ красный конецъ a будетъ снизу, фіолетовый сверху, а во второмъ наоборотъ.

Если вообразить теперь, что a будетъ крайней нижней точкой бѣлой свѣтящейся линіи, то при положеніи ширмы, какое мы видимъ въ S на рис. 39, каждая изъ точекъ этой линіи будетъ бросать на сѣтчатую оболочку спектръ, обращенный краснымъ концомъ кверху; и чѣмъ выше въ пространствѣ лежитъ данная точка, тѣмъ ниже будетъ лежать ея образъ на сѣтчатой оболочкѣ. Поэтому въ нашемъ

случаѣ спектры различныхъ точекъ будутъ лежать одинъ на другомъ и конечно отчасти закрывать другъ друга, такъ что свободно будутъ выступать лишь красный конецъ отъ самой нижней точки свѣтящейся линіи и синій — отъ верхней. Наконецъ, если мы составимъ изъ бѣлыхъ свѣтящихся линій, лежащихъ непосредственно другъ возлѣ друга, четыреугольное бѣлое поле, то изъ его изображенія на сѣтчатой оболочкѣ будутъ выступать сверху красные концы спектровъ, выходящихъ изъ точекъ нижней границы поля, а снизу голубые концы спектровъ, происходящихъ изъ верхнихъ точекъ поля. Другими словами, относя явленіе въ сознаніи кнаружи, мы увидимъ нижній конецъ бѣлаго поля съ красной каймой, а верхній съ голубой. Это же вполнѣ согласно съ тѣмъ, что было сказано выше: въ разбираемомъ случаѣ для нижняго края поля закрыта сторона зрачка, соотвѣтствующая черному, а для верхняго — сторона зрачка, соотвѣтствующая бѣлому полю.

И такъ, при обыкновенныхъ условіяхъ, явленія цвѣтнаго свѣторазсѣянія нисколько не вредятъ зрительной функціи глаза; но они очевидно должны давать себя чувствовать при разсматриваніи очень тонкихъ предметовъ, посылающихъ смѣшанные лучи, потому что при существующей, хотя и слабой, хромазіи глаза образами точекъ на сѣтчаткѣ не могутъ быть точки, а всегда круги свѣторазсѣянія.

§ 30. Изъ неправильностей въ формѣ и положеніи преломляющихъ поверхностей глаза до сихъ поръ изучены только неправильности кривизны той или другой изъ нихъ (прозрачной оболочки или передней поверхности хрусталика) по различнымъ меридіанамъ и послѣдствія этого недостатка — **астигматизмъ**, т. е. несхожденіе одноцентренныхъ лучей въ одну точку. Астигматизмъ.

Недостатокъ этотъ присущъ всякому нормальному глазу, такъ какъ измѣренія радіусовъ corneae показываютъ на

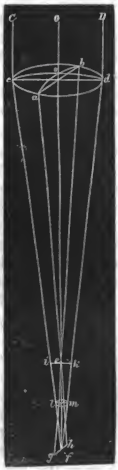
всѣхъ безъ исключенія людяхъ разницу въ величинѣ первыхъ по различнымъ направленіямъ, преимущественно же по отвѣсному и горизонтальному. Казалось бы, что при этомъ условіи никакая вообще точка въ пространствѣ не можетъ давать яснаго образа на сѣтчаткѣ, и слѣдовательно не можетъ быть ясно видима; а между тѣмъ опытъ показываетъ, что единственнымъ послѣдствіемъ этого недостатка, разумѣется если онъ не развитъ въ значительной степени, бываетъ лишь невозможность видѣть одновременно ясно точки предметовъ въ направленіяхъ, соотвѣтствующихъ наибольшей и наименьшей кривизнѣ преломляющей поверхности. Такъ, изъ двухъ перекрещивающихся между собой линій, горизонтальной и вертикальной, равно-удаленныхъ отъ глаза, можно видѣть совершенно ясно въ данное мгновеніе ту или другую, но никогда обѣ разомъ. Для послѣдняго нужно поставить ихъ на различныя разстоянія отъ глаза. Фикъ долженъ былъ напр. удалить отъ себя вертикальную линію на 4,6 м., чтобы видѣть ее одновременно ясно съ горизонтальною, которая отстояла отъ глаза на 3 м.; Гельмгольтцъ долженъ былъ поставить такія же линіи на 0,65 м. и 0,54 м. Замѣчательно, что въ обоихъ этихъ случаяхъ кривизна роговой оболочки въ вертикальномъ меридіанѣ была сильнѣе, чѣмъ въ горизонтальномъ, слѣдовательно нужно было бы повидимому ожидать, что въ такихъ глазахъ вертикальная линія должна стоять ближе горизонтальной, чтобы обѣ были видимы одинаково ясно.

Чтобы понять все сказанное, нужно познакомиться съ законами преломленія лучей въ поверхностяхъ, различно изогнутыхъ по различнымъ меридіанамъ.

Возьмемъ простѣйшій случай. Пусть *cadb* (рис. 40) будетъ поверхность cornea, позади которой лежитъ однородная преломляющая среда, отличающаяся отъ воздуха; и пусть кривизна *cod* въ горизонтальномъ меридіанѣ будетъ наименьшая, а

кривизна *aob* въ вертикальномъ—наибольшая (послѣдній меридіанъ нужно представлять себѣ въ плоскости, перпендикулярной къ бумагѣ). Если на такую поверхность падаетъ пучокъ параллельныхъ или расходящихся лучей, то очевидно лучи, падающіе на вертикальный меридіанъ, сойдутся раньше тѣхъ, которые падаютъ на горизонтальный, — первые въ точкѣ *e*, послѣдніе въ *f*; — всѣ же остальные лучи сойдутся между собою въ промежуткѣ между *e* и *f* — въ такъ называемомъ фокусномъ пространствѣ. Понятно далѣе, что лучи меридіана *aob* за точкою *e* снова расходятся и на уровнѣ *f* проходятъ черезъ линію *gh* параллельную *ab* и перпендикулярную къ плоскости бумаги; наоборотъ, лучи меридіана *cod* проходятъ на уровнѣ *e* черезъ линію *ik* въ плоскости бумаги. Для случая, когда толщина пучка, падающаго на кривую поверхность, очень мала, сравнительно съ радіусами кривизны послѣдней, линіи *gh* и *ki* имѣютъ, какъ это показываетъ математическій анализъ, въ высокой степени замѣчательное свойство: через нихъ проходятъ послѣ преломленія всѣ вообще лучи, падающіе на поверхность *cadb*. На этомъ основаніи образъ свѣтящейся точки, лежащей передъ нашей поверхностью, будетъ на уровнѣ *e* горизонтальною прямою линіею; образъ вертикальной линіи — будетъ утолщенная линія, а образъ горизонтальной не измѣнится, такъ какъ круги свѣторазсѣянія совпадаютъ по направленію

Рис. 40.



съ самимъ образомъ. На уровнѣ *gh* все будетъ обратное: точка будетъ вертикальной линіей; горизонтальная прямая будетъ казаться утолщенной, а вертикальная останется безъ измѣненія.

Послѣ этого уже понятны, какъ невозможность одновременно-яснаго видѣнія равно-удаленныхъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ линій, такъ и то обстоятельство, что для яснаго видѣнія обѣихъ разомъ вертикальная должна отстоять отъ глаза дальше горизонтальной. Въ самомъ дѣлѣ для этого сѣтчатка должна быть на уровнѣ *gh*, т. е. глазъ долженъ быть аккомодированъ къ горизонтальной линіи, въ плоскости наименьшей кривизны: но это всегда такъ и бываетъ, потому что изъ двухъ предметовъ глазъ легче приспособляется къ тому, который требуетъ меньшаго аккомодативнаго усилія.

Изъ хода лучей въ астигматическомъ глазу далѣе видно, что онъ, строго говоря, никогда не можетъ дать яснаго изображенія точки.—Когда сѣтчатка находится въ *gh* или *ki*, круги свѣторазсѣянія будутъ прямыми линіями; при передвиженіи сѣтчатки отъ *e* къ *f*, по фокусному пространству, они будутъ имѣть сначала форму эллипсовъ съ длинною осью въ горизонтальномъ направленіи, а около *gh* —форму эллипсовъ съ длинною осью въ вертикальномъ направленіи. Стало быть въ промежуткѣ между *e* и *f* будетъ и такая точка, гдѣ кругъ свѣторазсѣянія будетъ дѣйствительно кругомъ. Теоретически, эта точка была бы самою выгодною для сѣтчатки, чтобы видимая форма предмета совпадала съ истинной, но въ дѣйствительности глазъ не пользуется ею: при разсматриваніи предмета для него довольно видѣть въ каждый данный моментъ совершенно ясно какую-нибудь одну линію, чтобы перейти затѣмъ къ разсматриванію другой. Поэтому астигматизмъ, въ случаѣ несильнаго развитія, и не вредитъ зрительной функціи; тѣмъ болѣе, что тогда фокусное простран-

ство очень мало и самые круги свѣторазсѣянія очень незначительны.

Тамъ же, гдѣ порокъ достигаетъ значительныхъ размѣровъ, онъ можетъ быть устраненъ искуственными средствами.

Неправильность преломляющей поверхности, какая описана выше, очевидно можетъ быть воспроизведена со всѣми ея послѣдствіями положительной цилиндрической чечевицей, приложенной къ идеально-правильному глазу. Стало быть и порокъ этотъ можетъ быть исправленъ или положительной же цилиндрической чечевицей, поставленной такимъ образомъ, чтобы ось ея была перпендикулярна къ оси предъидущей, или отрицательной цилиндрической чечевицей, которой ось совпадала бы съ меридіаномъ наибольшей кривизны. Понятно кромѣ того, что фокусныя разстоянія чечевицы, обусловливающей порокъ, и той, которая его устраняетъ, должны быть равны между собою.

Этимъ дается возможность выразить степень астигматизма въ зависимости отъ фокуснаго разстоянія исправляющей чечевицы; и именно принять, въ параллель формулѣ аккомодативной способности глаза, степень астигматизма обратно пропорціональной фокусному разстоянію исправляющей чечевицы, т. е. Ast. $= \frac{1}{l}$. Пока степень порока не превышаетъ $^1/_{40}$, онъ еще находится въ предѣлахъ нормы и не требуетъ исправленія очками; но за этимъ предѣломъ зрительная функція уже начинаетъ страдать. Высшая степень Ast., встрѣченная Дондерсомъ, равнялась $^1/_4$.

Очки, употребляемые противъ этого порока, бываютъ: простыя двояковыпуклыя или двояковогнутыя цилиндрическія чечевицы, стекла съ сѣдельною поверхностью, и стекла, ограниченныя съ одной стороны сферическою (выпуклою или вогнутою) а съ другой цилиндрическою (выпуклою или вогнутою) поверхностями. Различіе это зависитъ отъ того, есть ли случай

астигматизма простой, или онъ осложненъ близорукостью, дальнозоркостью и прочими недостатками аккомодативной способности.

Изслѣдованія несимметричности глаза, произведенныя Дондерсомъ и Кнаппомъ, показали: 1) что главнѣйшій источникъ астигматизма заключается въ несимметричности corneae; 2) что въ большинствѣ случаевъ направленіе наибольшей кривизны лежитъ въ вертикальномъ, а направленіе наименьшей—въ горизонтальномъ меридіанѣ corneae; 3) что несимметричность кривизны хрусталика, то совпадаетъ по направленію съ несимметричностью corneae, то перпендикулярна къ ней; наконецъ 4) что при аккомодаціи вдаль и вблизь степень астигматизма большею частью остается одинаковой.

Послѣдствія неоднородности прозрачныхъ средъ.

§ 31. Слѣдствіемъ неоднородности прозрачныхъ средъ глаза, вытекающей уже изъ того, что онѣ состоятъ изъ сочетанія отдѣльныхъ форменныхъ элементовъ (напр. cornea и хрусталикъ), — бываетъ то, что поле зрѣнія глаза, при равномѣрно-сильномъ освѣщеніи всего его дна не кажется въ сознаніи совершенно равномѣрно освѣщенною поверхностью, а на немъ рисуются различнаго рода темныя пятна и узоры. Всего чаще видится звѣздчатая фигура, напоминающая собою лучистое строеніе хрусталика, и она дѣйствительно обусловливается послѣднимъ обстоятельствомъ. Кромѣ того въ полѣ зрѣнія плаваютъ темныя точки или кружечки: —это тѣнь па сѣтчаткѣ отъ непрозрачныхъ тѣлецъ или маленькихъ пузырьковъ, лежащихъ въ стекловидномъ тѣлѣ. Всѣ эти внутреглазныя (энтоптическія) ощущенія появляются лишь подъ условіемъ, когда глазъ не аккомодированъ къ источнику свѣта; поэтому они нисколько не мѣшаютъ нормальному зрительному акту.

Къ послѣдствіямъ неоднородности прозрачныхъ средъ принадлежатъ еще явленія свѣторазсѣянія, замѣчаемыя при условіи, когда сильный свѣтъ освѣщаетъ лишь часть глаз-

наго дна. Тѣльца, обусловливающія неоднородность средъ, служатъ тогда фокусами свѣторазсѣянія. По этой причинѣ свѣчка, разсматриваемая на темномъ фонѣ, кажется напр. окруженною свѣтлымъ туманомъ.

Явленія эти не имѣютъ однако практической важности, и потому останавливаться на нихъ долѣе было бы излишне.

§ 32. Если способность глаза видѣть ясно предметы въ промежуткѣ между безконечной далью и 4-дюймовымъ разстояніемъ (отъ глаза) принять за норму аккомодативной способности, то всякое передвиженіе того или другаго предѣла яснаго видѣнія съ соотвѣтствующихъ имъ въ нормальномъ (эмметропическомъ) глазу мѣстъ будетъ уже обусловливать собою недостатокъ аккомодативной способности. Недостатки аккомодативной способности.

Дондерсъ собираетъ эти пороки въ двѣ категоріи: близорукость (міопія) и дальнозоркость (гиперметропія *).

Первый порокъ характеризуется тѣмъ, что въ немъ предѣлъ дальняго видѣнія передвинутъ изъ безконечности на конечное разстояніе отъ глаза, или, что все равно, вторая фокусная плоскость близорукаго глаза лежитъ при покоѣ органа передъ сѣтчаткой. Этотъ порокъ производится обыкновенно болѣе или менѣе значительнымъ удлиненіемъ переднезадней оси глаза (напр. въ одномъ глазѣ съ значительной близорукостью длина зрительной оси доходила, по Дондерсу, почти до 37 мм., тогда какъ норма этой величины есть 22—23 мм.), потому что кривизна cornea при этомъ состояніи неизмѣняется противъ нормы, а хрусталикъ лежитъ даже глубже обыкновеннаго.

Гиперметропія заключается въ томъ, что глазъ собираетъ

*) Гиперметропія въ смыслѣ Дондерса не совпадаетъ, собственно говоря, съ распространенными понятіями объ дальнозоркости, но мы удержали это русское слово, потому что оба названія суть лишь условные знаки.

за сѣтчаткой даже параллельные лучи; другими словами, для него нѣтъ физической точки въ пространствѣ, которая могла бы дать ясный образъ на сѣтчаткѣ. Такой глазъ можетъ приспособляться только къ сходящимся лучамъ, т. е. видѣть черезъ собирательную чечевицу.

Порокъ этотъ производится укороченіемъ зрительной оси, потому что и здѣсь кривизна corneae остается нормальной, а хрусталикъ лежитъ даже ближе къ роговой оболочкѣ, чѣмъ въ нормальныхъ глазахъ.

Въ старости у всѣхъ людей, и даже у близорукихъ, развивается дальнозоркость, но она никогда не достигаетъ предѣловъ наслѣдственной гиперметропіи.

Средства для исправленія обоихъ пороковъ суть очки: разсѣевающія стекла для близорукихъ, собирательныя — для дальнозоркихъ.

Отраженіе лучей отъ глазнаго дна и освѣщеніе послѣдняго.

§ 33. До сихъ поръ мы слѣдили за ходомъ лучей черезъ прозрачныя среды до глазнаго дна. Здѣсь небольшая часть ихъ живой силы тратится на возбужденіе нервныхъ окончаній и даетъ поводъ къ свѣтовымъ ощущеніямъ, о которыхъ будетъ рѣчь въ слѣдующемъ отдѣлѣ. Бóльшая же часть живой силы переводится черезъ посредство чернаго пигмента въ другую форму движенія (теплоту), т. е. поглащается. Наконецъ, оставшаяся доля, небольшая, но все-таки заслуживающая вниманія, отражается отъ глазнаго дна.

Дно глаза, видимое черезъ зрачекъ, кажется намъ совершенно чернымъ; это явленіе основано на особенности распредѣленія отраженныхъ лучей по преломляющимъ средамъ. Именно, лучи, отраженные отъ какой нибудь точки глазнаго дна, могутъ направляться лишь къ тѣмъ точкамъ внѣшняго пространства, откуда они вышли при паденіи на

глазъ. Это есть необходимое слѣдствіе закона сопряженнаго хода лучей черезъ любую систему центрированныхъ преломляющихъ средъ.

На основаніи его, лучи, падающіе въ глазъ отъ какого нибудь свѣтящагося предмета (напр. свѣчки), возвращаются изъ глаза только по тѣмъ линіямъ, по которымъ падали, и слѣдовательно снова собираются въ свѣчкѣ. Послѣдняя будетъ, стало быть, образомъ своего изображенія на сѣтчаткѣ. Для того, чтобы видѣть лучи, возвращающіеся изъ глаза, наблюдатель долженъ былъ бы очевидно помѣститься между свѣчкой и наблюдаемымъ глазомъ, но тогда онъ заслонилъ бы собою источникъ свѣта; или ему пришлось бы помѣстить свой глазъ за свѣчкой (въ направленіи зрительной оси наблюдаемаго глаза), на разстояніи яснаго видѣнія отъ послѣдней, и тогда въ его глазъ дѣйствительно попали бы лучи, возвращающіеся изъ наблюдаемаго глаза, но они были бы замаскированы лучами, выходящими непосредственно изъ свѣчки, такъ какъ лучи отъ образа на сѣтчаткѣ проходятъ сквозь свѣчку.

Если перенести теперь все сказанное на случай, когда передъ наблюдаемымъ глазомъ стоитъ вмѣсто свѣчки глазъ наблюдателя, такъ, чтобы зрачекъ приходился противъ зрачка, то становится понятнымъ безъ дальнѣйшихъ разсужденій, что наблюдающій глазъ можетъ получать свѣтъ лишь отъ тѣхъ мѣстъ сѣтчатой оболочки наблюдаемаго, которыя сами получаютъ свѣтъ отъ глаза наблюдателя; другими словами, — отъ такихъ мѣстъ сѣтчатой оболочки, которыя принадлежатъ къ образу наблюдающаго глаза въ наблюдаемомъ. Если, слѣдовательно, при данномъ расположеніи обоихъ глазъ образъ зрачка наблюдателя ясно рисуется на днѣ наблюдаемаго глаза, то соотвѣтствующія мѣста сѣтчатой оболочки послѣдняго могутъ получать свѣтъ только отъ этого зрачка; а такъ какъ изъ

него не выходитъ замѣтныхъ лучей, то мѣста и остаются темными *).

Невозможность видѣть лучи, возвращающіеся изъ глаза, при условіи, когда онъ аккомодированъ къ источнику свѣта, даетъ уже намекъ на то, какимъ образомъ можно ихъ сдѣлать доступными наблюдающему глазу.

Вообразимъ себѣ, что передъ глазомъ попрежнему стоитъ свѣчка, но онъ уже не приспособленъ къ ней. Тогда на сѣтчаткѣ образъ ея будетъ расплывшійся и глазу она будетъ казаться увеличенною. При этомъ условіи лучи, отражающіеся отъ освѣщенныхъ точекъ сѣтчатой оболочки (отъ круговъ свѣторазсѣянія), сходятся уже не въ свѣчкѣ, какъ это было въ разобранномъ случаѣ, а въ точкахъ ея увеличеннаго образа. Если послѣдній значительно больше самой свѣчки, т. е. если круги свѣторазсѣянія на сѣтчаткѣ значительны, то понятно, что тогда является возможность для наблюдающаго глаза помѣститься рядомъ со свѣчкой и уловить боковые лучи. Но тогда конечно глазъ наблюдателя будетъ видѣть лишь край круга свѣторазсѣянія на сѣтчаткѣ, а не образъ свѣчки, и оттого внутренность глаза будетъ казаться ему освѣщенною.

*) Сказанному прямо противорѣчитъ повидимому слѣдующій общеизвѣстный фактъ. Въ глазахъ альбиносовъ, людей и животныхъ, дно глаза, видимое черезъ зрачекъ, кажется не чернымъ, а краснымъ. Это происходитъ вслѣдствіе того, что въ этихъ глазахъ радужная и сосудистая оболочки очень бѣдны пигментомъ, и потому просвѣчиваютъ. Черезъ нихъ проходитъ свѣтъ, разсѣевающійся на днѣ глаза и освѣщающій его равномѣрно во всѣхъ мѣстахъ, не исключая и того, на которомъ рисуется образъ зрачка наблюдающаго глаза. Убѣдиться въ томъ, что дно глаза у альбиносовъ освѣщается именно лучами, проходящими черезъ радужную оболочку, а не черезъ зрачекъ, очень легко посредствомъ простаго и поучительнаго опыта Дондерса. Передъ глазомъ бѣлаго кролика нужно поставить маленькую непрозрачную ширму (изъ картона или металла) съ отверстіемъ, равнымъ величинѣ зрачка. Ширма задерживаетъ лучи отъ радужной оболочки, свѣтъ падаетъ только черезъ зрачекъ, и теперь дно кроличьяго глаза, несмотря на отсутствіе пигмента, кажется совершенно чернымъ.

Такой опытъ совершенно возможенъ и имѣетъ слѣдующую форму.

Наблюдающій глазъ *B* (рис. 41) смотритъ на разстояніи нѣсколькихъ метровъ, какъ разъ мимо пламени лампы *A*,

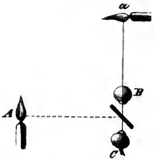
Рис. 41.



на наблюдаемый глазъ *C*. Чтобы не быть ослѣпленнымъ свѣтомъ отъ *A*, впереди *B* ставится ширма S. Если глазъ *C* аккомодированъ къ меньшему разстоянію чѣмъ *AC*, то на его днѣ образуется разсѣянный образъ отъ *A* и глазъ *B* замѣчаетъ въ зрачкѣ глаза *C* красноватый свѣтъ. Зрачекъ будетъ конечно всего свѣтлѣе, если освѣщенное мѣсто *C*, видимое глазомъ *B*, совпадаетъ съ мѣстомъ входа зрительнаго нерва (этотъ случай и показанъ на рис. 41), потому что послѣднее не имѣетъ пигмента.

Еще лучше можно освѣтить дно глаза такъ, какъ показано на рис. 42. Здѣсь пламя свѣчки *A* падаетъ въ

Рис. 42.



глазъ *C* не прямо, а посредствомъ зеркала *S*; наблюдающій же глазъ *B* помѣщается за зеркаломъ (послѣднее должно или

имѣть отверстіе, или быть прозрачнымъ). Пламя *A* отражается зеркаломъ такъ, какъ будто бы оно выходило изъ *a*, и даетъ изображеніе на сѣтчаткѣ *C*. Лучи отсюда отражаются и идутъ по направленію къ *a*; на этомъ пути часть ихъ отражается зеркаломъ въ направленіи къ *A*, а другая проходитъ черезъ зеркало и попадаетъ въ глазъ наблюдателя.

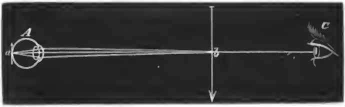
Въ этомъ, равно какъ въ предъидущемъ, опытѣ наблюдатель хотя и видитъ дно глаза освѣщеннымъ, однако онъ не можетъ различить формы сѣтчатой оболочки, потому что глазъ его не можетъ безъ искуственныхъ пособій приспособиться къ ней. А между тѣмъ средства къ этому есть, и они даны инструментомъ, извѣстнымъ подъ названіемъ **глазнаго зеркала или офтальмоскопа.**

Теорія офтальмоскопа.

§ 34. Инструментъ этотъ устроенъ Гельмгольтцомъ и состоитъ изъ двухъ частей: снаряда для освѣщенія глазнаго дна и діоптрическаго аппарата, дающаго возможность наблюдателю видѣть форму освѣщенной сѣтчатки. Первая половина устроена по принципу, изображенному на рисункѣ 42; устройство же діоптрическаго снаряда вытекаетъ изъ слѣдующаго.

Если передъ глазомъ *A* (рис. 43) стоитъ въ предѣлахъ его яснаго видѣнія предметъ *b*, и *A* приспособленъ къ нему,

Рис. 43.



такъ что на его днѣ рисуется въ *a* ясный образъ *b*, то по закону совпаденія лучей, падающихъ въ глазъ и возвращающихся изъ него, въ плоскости *b* будетъ лежать какъ сопряженное изображеніе *a*, такъ и образъ сѣтчатки. Еслибы

поэтому глазъ *C* хотѣлъ видѣть образъ *a*, или, что все равно, образъ сѣтчатки глаза *A*, то ему слѣдовало бы удалиться отъ *b* на разстояніе *bC* въ предѣлахъ своего яснаго видѣнія, потому что въ промежуткѣ *Ab* лучи выходятъ изъ глаза *A* сходящимися и слѣдовательно не могутъ быть здѣсь собраны на сѣтчаткѣ *C*, а за предѣлами *b* это возможно, такъ какъ лучи становятся здѣсь уже расходящимися. Понятно однако, что при положеніи наблюдающаго глаза въ *C*, въ его зрачекъ, по ограниченности поля зрѣнія, попадала бы чрезвычайно ничтожная часть лучей, идущихъ отъ *a*; стало быть *C* не могъ бы видѣть сѣтчатки.

Дѣло другаго рода, если передъ *A* поставить разсѣевающую чечевицу *B* (рис. 44), которая превратила бы лучи, идущіе отъ дна глаза, изъ сходящихся въ расходящіеся; тогда глазъ наблюдателя можетъ помѣститься непосредственно за чечевицей и въ него попадутъ всѣ лучи, идущіе отъ сѣт-

Рис. 44.

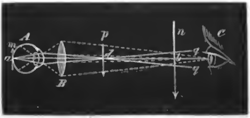


чатки. Чтобы видѣть форму послѣдней, нужно только, чтобы мнимый прямой образъ ея (*p*), даваемый чечевицей, отстоялъ отъ наблюдающаго глаза въ предѣлахъ яснаго видѣнія послѣдняго. Какъ только это условіе выполнено, образъ *a* рисуется на сѣтчаткѣ наблюдателя въ обратномъ видѣ, а видится въ прямомъ. Выполнить же сказанное условіе очень легко, такъ какъ оно зависитъ отъ степени преломляющей способности (фокуснаго разстоянія) разсѣевающей чечевицы, которая легко можетъ быть найдена изъ общеизвѣстной формулы для главныхъ и сопряженныхъ фокусныхъ длинъ.

$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{a}$. Въ нашемъ случаѣ (рис. 44) $b = Bb$, $a = Bd$, а f — искомое фокусное разстояніе (его нужно будетъ взять съ отрицательнымъ знакомъ). Первыя двѣ величины очевидно извѣстны: Bb есть разстояніе, на которое аккомодированъ глазъ, минусъ удаленіе чечевицы отъ глаза; Bd должно лежать въ предѣлахъ аккомодаціи наблюдающаго глаза. Стало быть по даннымъ величинамъ a и b вычисляется f.

Второй способъ, при которомъ наблюдающій глазъ можетъ видѣть ясно освѣщенную часть сѣтчатой оболочки наблюдаемаго, состоитъ въ слѣдующемъ. Передъ наблюдаемымъ глазомъ A (рис. 45) ставятъ въ небольшомъ разстояніи со-

Рис. 45.



бирательную чечевицу B съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ. Посредствомъ ея лучи, выходящіе изъ глаза уже сходящимися, сходятся еще болѣе и даютъ обратный реальный образъ освѣщенной сѣтчатки въ d, между чечевицей и ея фокусной плоскостью. Глазъ наблюдателя и можетъ видѣть этотъ послѣдній образъ, если удалится отъ него на разстояніе въ предѣлахъ своего яснаго видѣнія. Образъ сѣтчатки будетъ рисоваться въ наблюдающемъ глазу очевидно въ прямомъ положеніи (потому что онъ извращается 2 раза), а видѣться въ обратномъ. И здѣсь по извѣстнымъ Bb и f легко вычисляется (изъ формулы $\frac{1}{f} = \frac{1}{Bd} - \frac{1}{Bb}$) Bd

Чтобы понять выгоды и недостатки обоихъ способовъ

освѣщенія глазнаго дна, нужно сравнить при одинаковыхъ, по возможности, условіяхъ степень увеличенія образа и величину обозрѣваемаго поля зрѣнія въ томъ и другомъ случаѣ. Это мы разберемъ на двухъ примѣрахъ.

1-й случай. Положимъ глазъ *A* (рис. 44) схематическій и приспособленъ во время освѣщенія на 0,5 метр. Пусть далѣе *B* отстоитъ отъ *A* на 50 мм. и наблюдающій глазъ лежитъ непосредственно за чечевицей; наконецъ пусть отстояніе мнимаго образа сѣтчатки отъ наблюдающаго глаза (или все равно отъ чечевицы *B*, такъ какъ глазъ лежитъ непосредственно за нею) будетъ $= 8''$, или 216 мм.

Тогда $Bb = 450$ мм.; $Bd = 216$; отстояніе узловой точки (упрощеннаго) глаза *A* отъ $b = 508$ мм., а разстояніе ея отъ сѣтчатки $= 15$ мм.

При этихъ условіяхъ:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{450} + \frac{1}{216};\ f = \text{почти } 146 \text{ мм.},$$

т. е. отрицательное фокусное разстояніе чечевицы должно имѣть величину 146 мм.

Для опредѣленія же степени увеличенія, мы имѣемъ

$$\text{образъ въ } a : \text{образу въ } b = 15 : 508,$$

такъ какъ образы эти сопряжены прямыми линіями, проходящими черезъ узловую точку глаза *A*, и слѣдовательно величины ихъ прямо пропорціональны отстояніямъ отъ этой точки.

Но образъ въ *b* (*n*) сопряженъ съ образомъ въ *d* (*p*) прямыми, проходящими черезъ центръ чечевицы *B*. слѣдовательно

$$\text{образъ въ } b : \text{образу въ } d = 450 : 216.$$

Помноживъ обѣ пропорціи другъ на друга, получимъ:

$$\frac{p}{a} = \frac{508}{15} \times \frac{216}{450} \text{ или почти } = 16.$$

Это и есть увеличеніе образа сѣтчатки для данныхъ условій освѣщенія.

Что касается наконецъ до величины поля зрѣнія наблюдателя, т. е. до величины обозрѣваемаго пространства на сѣтчаткѣ наблюдаемаго глаза, то она очевидно опредѣляется такъ называемыми зрительными линіями, проведенными изъ центра наблюдающаго зрачка къ окружности наблюдаемаго. Если поэтому центръ перваго, или правильнѣе центръ его образа, производимаго чечевицей B, лежитъ въ первомъ фокусѣ наблюдаемаго глаза, то обозрѣваемое пространство сѣтчатки будетъ равно отверстію зрачка; если же B вмѣстѣ съ наблюдающимъ глазомъ лежитъ отъ A далѣе фокуснаго разстоянія, то пространство меньше. Послѣднее и имѣетъ всегда мѣсто.

2-й случай. Пусть по прежнему схематическій глазъ (рис. 45) принаровленъ къ разстоянію въ 500 мм., такъ что и теперь $\frac{m}{n} = \frac{15}{508}$; пусть далѣе собирательная чечевица съ фокуснымъ разстояніемъ въ 30 мм. отстоитъ отъ него на 22 мм. Тогда $Bb = 500 - 22 = 478$ мм.; а Bd опредѣляется изъ формулы $\frac{1}{f} = \frac{1}{Bd} - \frac{1}{Bb}$ равнымъ почти 28 мм.

Для опредѣленія степени увеличенія кромѣ $\frac{m}{n} = \frac{15}{508}$ имѣемъ $\frac{n}{p} = \frac{478}{28}$. Помноживъ оба уравненія, получимъ

$$\frac{p}{m} = \frac{508 \,.\, 28}{15 \,.\, 478} = \text{почти } 2.$$

Здѣсь очевидно увеличеніе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе фокусное разстояніе собирательной чечевицы.

Поле зрѣнія и въ этомъ случаѣ будетъ ограничиваться краемъ наблюдаемаго зрачка, но только до тѣхъ поръ, пока чечевица B лежитъ очень близко къ A; лишь только она удалится отъ него на длину своего фокуснаго разстоянія, лучи, идущіе изъ глаза, дѣлаются параллельными и поле зрѣнія ограничивается тогда не зрачкомъ, а окружностью чечевицы.

Величина обозрѣваемаго участка сѣтчатой оболочки опредѣляется и здѣсь зрительными линіями, проведенными изъ центра зрачка наблюдающаго глаза, но уже не къ окружности наблюдаемаго зрачка, а къ окружности чечевицы *B*. Если эти линіи разсматривать какъ лучи свѣта, то очевидно самыя крайнія изъ нихъ, которыя по преломленіи въ *B* могутъ только попадать въ наблюдаемый зрачекъ, обрисуютъ участокъ сѣтчатки, доступный видѣнію. На рис. 45 зрительныя линіи обозначены пунктированными прямыми и чечевица *B* поставлена относительно глаза *A* такимъ образомъ, чтобы фокусъ ея совпадалъ съ узловой точкой *A*; тогда зрительныя линіи, по преломленіи въ *B*, проходятъ по глазу, уже не преломляясь. Если при этомъ условіи діаметръ окружности чечевицы назвать g, діаметръ видимаго участка на сѣтчаткѣ h, отстояніе послѣдней отъ узловой точки глаза k и наконецъ фокусное разстояніе чечевицы f; то

$$\frac{h}{g} = \frac{k}{f}.$$

Діаметръ окружности чечевицы ничто не мѣшаетъ сдѣлать равнымъ напр. половинѣ длины ея фокуснаго разстоянія, $g = {}^1/_2 f$, тогда

$h = {}^1/_2 k$; въ схематическомъ глазу $k = 15$ мм.

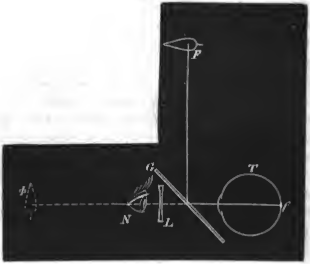
Слѣдовательно $h = 7\,^1/_2$. мм.

И такъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, первый способъ освѣщенія глазнаго дна даетъ большее увеличеніе видимыхъ частей сѣтчатки, но за то участокъ послѣднихъ меньше, чѣмъ при второмъ способѣ.

Первый офтальмоскопъ, построенный на изложенной теоріи, принадлежитъ Гельмгольтцу. Онъ характеризуется всего больше тѣмъ, что при его употребленіи вовсе не нужно избѣгать яснаго образа на изслѣдуемой сѣтчаткѣ, ни отъ источника свѣта, ни отъ зрачка наблюдающаго глаза. Опытъ

производится, какъ показано на рис. 46. Между обоими глазами ставятъ въ наклонномъ положенiи простую сте-

Рис. 46.



клянную пластинку G и сбоку яркое пламя F, такъ чтобы зеркальное отраженiе его Φ падало въ направленiи линiи, соединяющей оба зрачка. Тогда будетъ конечно освѣщена для N та часть сѣтчатой оболочки глаза F, которая можетъ отражать къ нему лучи черезъ стеклянную пластинку; и это возможно даже въ томъ случаѣ, когда пламя находится на такомъ разстоянiи, что даетъ ясный образъ на сѣтчатой оболочкѣ глаза *T*. Если при этомъ глазъ *N* вооружится приличной разсѣевающей чечевицей L, то можно ясно видѣть обратное изображенiе пламени F на днѣ глаза T. На немъ можно даже прослѣдить дѣйствiе приспособляющаго аппарата. Именно, образъ пламени становится тотчасъ-же неяснымъ, когда глазъ T, измѣнивъ свою аккомодацiю, перестаетъ видѣть ясно пламя Φ.

Стеклянная пластинка въ рамкѣ съ придаткомъ для раз-

сѣевающей чечевицы представляетъ первоначальную форму глазнаго зеркала Гельмгольтца. Чтобы при наблюденіяхъ уменьшить по возможности зеркальное отраженіе отъ роговой оболочки, которое вредитъ ясности образа, Гельмгольтцъ предлагаетъ брать вмѣсто одной стеклянной пластинки три параллельныхъ, и отражать свѣтъ подъ угломъ возможно полной поляризація. Свѣтъ, отраженный отъ роговой оболочки и служащій помѣхой при опытѣ, остается въ такомъ случаѣ поляризованнымъ и значительно слабѣетъ при переходѣ черезъ тройной рядъ стеклянныхъ пластинокъ. Наоборотъ, лучи, отраженные отъ дна глаза, на которые собственно обращается вниманіе, теряютъ свою поляризацію, вслѣдствіе разсѣянія, и проходятъ, почти не ослабѣвая, черезъ стеклянныя пластинки.

Въ позднѣйшихъ формахъ офтальмоскопа, употребляемыхъ глазными медиками съ практическою цѣлью, освѣщающій снарядъ имѣетъ форму вогнутаго зеркала съ отверстіемъ въ серединѣ для наблюдающаго глаза. Зеркало ставится передъ глазомъ нѣсколько косо, чтобы свѣтъ отъ лампы, поставленной съ боку изслѣдуемаго глаза, попадалъ въ него послѣ отраженія. На общемъ штативѣ съ зеркаломъ утверждены и преломляющіе снаряды, при посредствѣ которыхъ получается прямое или обратное изображеніе глазнаго дна. Входить въ дальнѣйшее описаніе этихъ инструментовъ было бы здѣсь неумѣстно, такъ какъ они употребляются почти исключительно глазными медиками съ практическими цѣлями и описываются въ учебникахъ офтальмологіи.

Возбужденіе зрительнаго нерва свѣтомъ.

Послѣ того, какъ въ предъидущихъ параграфахъ свѣтъ былъ доведенъ до дна глаза и описана судьба той его части, которая путемъ отраженія выходитъ изъ глаза наружу, естественно является вопросъ, что дѣлается въ сѣтчаткѣ съ

остальною частью свѣта. Отвѣтъ очевиденъ—часть изъ этаго остатка поглощается чернымъ пигментомъ, облегающимъ сѣтчатку, а другая идетъ на возбужденіе зрительнаго нерва. Насъ интересуетъ конечно только послѣдняя часть.

И такъ, вопросъ о судьбѣ свѣта въ сѣтчаткѣ совпадаетъ съ вопросомъ о процессѣ возбужденія имъ зрительнаго нерва.

Элементы сѣтчатой оболочки, возбуждаемые свѣтомъ.

§ 35. Лучи свѣта, дойдя до дна глаза, встрѣчаютъ прежде всего слой нервныхъ волоконъ въ сѣтчаткѣ, и потому естественно было бы думать, что возбужденіе зрительнаго нерва и происходитъ именно здѣсь; а между тѣмъ факты говорятъ противное. — Они показываютъ, что свѣтъ, падающій на волокна зрительнаго нерва непосредственно, не вызываетъ свѣтовыхъ ощущеній, и слѣдовательно не возбуждаетъ зрительнаго нерва.

Это доказывается уже тѣмъ, что въ мѣстѣ наиболѣе яснаго видѣнія на сѣтчаткѣ, въ такъ называемомъ желтомъ пятнѣ съ его центральнымъ углубленіемъ, — въ мѣстѣ, на которомъ строятся обыкновенно образы разсматриваемыхъ предметовъ, — недостаетъ именно слоя нервныхъ волоконъ. Но это доказательство еще косвенное; наше же положеніе можетъ быть доказано и прямыми опытами. Въ мѣстѣ вхожденія зрительнаго нерва въ полость глазнаго яблока (легко узнаваемомъ по бѣлому отблеску при освѣщеніи глазнаго дна зеркаломъ) сѣтчатка во всей своей толщѣ состоитъ изъ однихъ нервныхъ волоконъ, и именно это мѣсто, одно на всемъ протяженіи сѣтчатки, нечувствительно къ свѣту. Освѣщая дно глаза зеркаломъ, Дондерсъ заставлялъ падать образъ горящей свѣчки на мѣсто вхожденія зрительнаго нерва, и свѣтоваго ощущенія при этомъ не происходило.

Впрочемъ, нечувствительность этаго мѣста къ свѣту, или какъ говорится обыкновенно, существованіе слѣпаго пятна въ сѣтчатой оболочкѣ, было извѣстно несравненно ранѣе

описаннаго наблюденія Дондерса. — Оно вытекало изъ слѣдующаго общеизвѣстнаго опыта. На листѣ бумаги, лежащемъ горизонтально (см. рис. 47), рисуютъ двѣ точки, одну ма-

Рис. 47.



ленькую, другую значительно больше, въ разстояніи, показанномъ на нашей фигурѣ (нѣсколько большемъ или меньшемъ—все равно), и смотрятъ на меньшую изъ нихъ сверху внизъ, то приближая, то удаляя голову отъ бумаги, однимъ глазомъ, а другой держать закрытымъ. Если маленькая точка лежитъ слѣва, то на нее смотрятъ правымъ глазомъ, и наоборотъ. При этихъ условіяхъ всякій легко замѣтитъ, что на опредѣленномъ разстояніи глаза отъ бумаги, большая точка становится невидимой; если же глазъ подвинулся ближе или дальше, образъ ея появляется снова въ полѣ зрѣнія. Замѣтивъ при данномъ опытѣ разстояніе глаза отъ бумаги, соотвѣтствующее моменту исчезанія боковой точки, и зная кромѣ того какъ размѣры глаза, такъ и положеніе въ немъ узловой точки, легко опредѣлить мѣсто сѣтчатки, на которое падаетъ образъ невидимой точки. Это и было давнымъ-давно сдѣлано и оказалось, что мѣсто образа всегда соотвѣтствуетъ мѣсту вхожденія зрительнаго нерва. Послѣднее имѣетъ около 1,8 мм. ширины и лежитъ кнутри отъ желтаго пятна; его наружный край отстоитъ отъ средины mac. luteae среднимъ числомъ на 3,8 мм. При этомъ условіи линіи, проведенныя

изъ средины желтаго пятпа (зрительная ось) и отъ наружнаго края слѣпаго пятна къ узловой точкѣ, будутъ образовать уголъ около 12°; поэтому ту же, или правильнѣе, нѣсколько большую величину должны образовать между собою и продолженія этихъ линій въ пространство, чтобы предметъ, лежащій въ направленіи боковаго луча, сдѣлался невидимымъ. Съ другой стороны размѣры слѣпаго пятна на сѣтчаткѣ настолько велики, что при надлежащемъ удаленіи отъ глаза (съ удаленіемъ предметовъ образы ихъ на сѣтчаткѣ уменьшаются), изъ поля зрѣнія исчезаютъ очень крупные предметы. Напр. на разстояніи 2-хъ метровъ становится невидимымъ человѣческое лицо.

Всякому человѣку очень легко опредѣлить фигуру своего слѣпаго пятна; стоитъ только при опытѣ, показанномъ на рис. 47, найти разстояніе глаза отъ бумаги, когда боковая точка сдѣлалась невидимой, остановиться на немъ и начать обрисовывать карандашемъ невидимое мѣсто на бумагѣ.

Но какой же слой сѣтчатки возбуждается послѣ этого свѣтомъ?

Вопросъ этотъ рѣшенъ Г. Мюллеромъ.

Уже ранѣе его знаменитыхъ работъ надъ сѣтчаткой были извѣстны искуственныя условія освѣщенія глаза, при которыхъ видятся энтоптически сосуды сѣтчатой оболочки (Пуркинье), но эти явленія получили высокое значеніе лишь въ его рукахъ. Онъ показалъ вопервыхъ, что сосуды сѣтчатки лежатъ во внутреннихъ пластахъ ея, незаходя за предѣлы межзернистаго слоя, и доказалъ этимъ, что элементы retinae, воспринимающіе свѣтовое возбужденіе, должны лежать въ заднихъ слояхъ сѣтчатки. Вовторыхъ онъ нашелъ возможность вычислить отстояніе слоя искомыхъ элементовъ отъ сосудовъ сѣтчатки, сравнилъ эту величину съ разстояніями слоевъ retinae, опредѣленными путемъ микроскопическихъ изслѣдованій, и доказалъ, что элементами сѣтчатой оболочки,

воспринимающими свѣтовое возбужденіе, могутъ быть только палочки или колбочки.

Вотъ ходъ этаго знаменитаго опыта (см. рис. 48).

Изслѣдуемый глазъ заставляютъ смотрѣть какъ можно больше кнутри (къ носу) въ темное пространство, а на наружной части бѣлковой оболочки, какъ можно дальше отъ роговой, собираютъ лучи отъ лампы посредствомъ чечевицы. Точка *a* становится тогда источникомъ свѣта, освѣщающимъ глазное дно въ непривычномъ направленіи, такъ какъ обыкновенно свѣтъ падаетъ въ глазъ черезъ зрачекъ. Если на пути луча *aα* встрѣчается сосудъ *c* (представленный въ разрѣзѣ),

Рис. 48.



то на заднихъ слояхъ сѣтчатки въ *α* образуется тѣнь отъ сосуда. Она очевидно упадетъ на мѣсто сѣтчатой оболочки, непривычное быть отѣненнымъ при обыкновенныхъ условіяхъ освѣщенія глазнаго дна, оттого тѣнь эта и ощущается. Но человѣкъ возбужденія своей сѣтчатки всегда объективируетъ; стало быть образъ тѣни, рядомъ съ окружающими ее освѣщенными частями, переносится имъ въ темное пространство, и такимъ образомъ глазу представляется свѣтлое поле зрѣнія, на которомъ рисуется темная тѣнь сосудовъ retinae, совершенно соотвѣтствующая по формѣ настоящей сѣти ихъ *). Если источникъ свѣта передвинется

*) Иногда случается, что поле зрѣнія кажется наоборотъ темнымъ, а сѣть сосудовъ блестящею. Это объясняютъ такъ: при освѣщеніи глаза сбоку, рядомъ съ тѣмъ, что тѣнь отъ сосудовъ падаетъ на мѣста

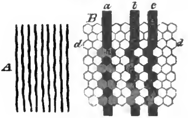
изъ a въ b, тѣнь сосуда изъ α перейдетъ въ β, а проекція тѣни наружу изъ A въ B. Другими словами, при передвиженіяхъ источника свѣта по поверхности бѣлковой оболочки передвигается въ томъ же направленіи и видимая фигура сосудовъ. Теперь уже понятно, что если при описываемомъ опытѣ извѣстно разстояніе отъ глаза, на которое проэцируется тѣнь отъ сосудовъ, а съ другой—извѣстна величина передвиженія AB, то по этимъ даннымъ легко найти величину $\alpha\beta$. Когда же извѣстна эта послѣдняя величина и положеніе точекъ a и b, равно какъ ихъ взаимное разстояніе, то легко опредѣляется и отстояніе v отъ $\alpha\beta$, т. е. отстояніе сосудовъ отъ заднихъ слоевъ сѣтчатки, воспринимающихъ свѣтовое возбужденіе. Г. Мюллеръ нашелъ въ своихъ опытахъ послѣднюю величину лежащею между 0,17 и 0,36 мм.; а на этихъ разстояніяхъ отъ сосудовъ въ толщѣ сѣтчатки лежитъ наружный зернистый слой или слой палочекъ и колбочекъ. Между ними слоемъ, воспринимающимъ свѣтовое возбужденіе, можетъ быть однако только послѣдній, уже потому, что элементы наружнаго зернистаго слоя эквивалентны обнаженнымъ осевымъ цилиндрамъ или частямъ ихъ, которые свѣтомъ не возбуждаются.

Въ пользу описываемаго значенія палочнаго слоя еще яснѣе говорятъ физіологическіе факты, относящіеся до условій видѣнія плоскостныхъ образовъ. Объ нихъ рѣчь будетъ ниже, теперь же мы ограничимся приведеніемъ явленія, которое, по мнѣнію Гельмгольтца, тоже можетъ служить подтвержденіемъ развиваемой нами мысли.

сѣтчатки, непривычныя быть отѣненными, свѣтъ падаетъ на точки retinae, бывающія при обычныхъ условіяхъ освѣщенія глаза всегда въ тѣни. Точки эти, будучи къ свѣту чувствительнѣе окружающихъ точекъ, возбуждаются имъ несравненно сильнѣе, оттого онѣ и должны казаться сознанію болѣе блестящими. Но сумма этихъ точекъ, очевидно, образуетъ фигуру, тождественную сѣти сосудовъ, стало быть блестящія мѣста должны имѣть форму послѣдней.

Если провести на бумагѣ рядъ черныхъ прямыхъ линій, параллельныхъ между собою, такъ, чтобы бѣлые промежутки между ними были приблизительно равны толщинѣ самыхъ линій, и держать этотъ рисунокъ передъ глазами на разстояніи, когда полосы видны еще совершенно ясно, то въ скоромъ времени вмѣсто прямыхъ линій глазъ видитъ рядъ волнистыхъ, какъ это показано въ *A* на рис. 49. Явленіе

Рис. 49.



это объясняется очень просто, если за элементы сѣтчатки, воспринимающіе свѣтъ единично, принять колбочки. Тогда въ самомъ дѣлѣ образъ, падающій на двѣ сосѣднія площади колбочекъ, хотя и не занималъ бы ихъ вполнѣ, долженъ производить впечатлѣніе, какъ будто имъ прикрыты цѣлыя площади; образъ же въ сферѣ одной колбочки не переходилъ бы за предѣлы ея периферіи. Въ *B*, рис. 49, система колбочекъ представлена въ видѣ рядовъ касающихся между собою шестиугольниковъ; *a*, *b*, *c* суть образы черныхъ линій на сѣтчаткѣ. Образъ *a* занимаетъ поперемѣнно то площадь одной колбочки, то двухъ, оттого и кажется волнистымъ. Образы *b* и *c* занимаютъ поперемѣнно то большую половину площадей, лежащихъ вправо, то большую половину тѣхъ, которыя лежатъ влѣво, вслѣдствіе этаго и ощущеніе темныхъ линій должно постоянно переходить справа налѣво и наоборотъ.

Но вѣдь палочный слой сѣтчатой оболочки состоитъ изъ двухъ различныхъ элементовъ, и если только-что описанный

опытъ доказываетъ возбуждаемость свѣтомъ колбочекъ (образъ разсматриваемыхъ линій падаетъ на желтое пятно, а оно состоитъ исключительно изъ колбочекъ), то онъ оставляетъ не рѣшеннымъ вопросъ.—обладаютъ ли этимъ свойствомъ и палочки.

Послѣдній вопросъ затронутъ лишь въ самое недавнее время М. Шульце. Онъ нашелъ, что у нѣкоторыхъ изъ представителей ночныхъ животныхъ, именно у летучей мыши; морской свинки, крота, ежа, мыши и у совъ, колбочки совершенно исчезаютъ изъ сѣтчатки и замѣняются палочками, а у кошки, живущей какъ днемъ такъ и ночью, количество первыхъ лишь ограниченѣе, чѣмъ у чисто дневныхъ млекопитающихъ. Особенно интересна въ этомъ отношеніи сова, такъ какъ у дневныхъ птицъ, въ отличіе отъ млекопитающихъ, колбочки значительно преобладаютъ числомъ надъ палочками. Изъ этого факта, въ связи съ тѣмъ обстоятельствомъ, что элементы палочнаго слоя во всемъ ряду позвоночныхъ удерживаютъ одну и ту же свойственную имъ типическую форму, М. Шульце выводитъ заключеніе, что свѣтъ возбуждаетъ какъ колбочки, такъ и палочки.

Съ послѣднимъ выводомъ согласны и результаты опытовъ Обера надъ распредѣленіемъ чувствительности къ свѣту по поверхности сѣтчатой оболочки у человѣка. Онъ нашелъ, что слабо свѣтящіеся предметы, напр. накаливаемая постепенно платиновая проволока, будучи разсматриваемы въ темнотѣ, возбуждаютъ одинаково сильно какъ центральныя такъ и периферическія части сѣтчатки.

Процессъ возбужденія сѣтчатки свѣтомъ.

§ 36. Что касается до самаго процесса возбужденія сѣтчатки свѣтомъ, то въ этомъ отношеніи можно утверждать съ положительностью лишь слѣдующее: свѣтъ проходитъ черезъ всѣ 6 внутреннихъ слоевъ сѣтчатки какъ по прозрачнымъ тѣламъ и только въ сферѣ 7-го, а можетъ быть и на границѣ послѣдняго съ пигментомъ, свѣтовое движеніе

переходитъ въ какую-то другую форму, которая способна возбуждать нервное волокно. Соотвѣтственно возможности для свѣта переходить въ тепловое движенiе и производить химическое дѣйствiе, въ наукѣ существуютъ двѣ теорiи возбужденiя концевъ зрительнаго нерва свѣтомъ. Одна изъ нихъ (Мозера) смотритъ на палочный слой сѣтчатки, какъ на аппаратъ, соотвѣтствующiй чувствительной пластинкѣ фотографовъ, и сводитъ такимъ образомъ процессъ свѣтоваго возбужденiя на химическое раздраженiе концовъ зрительнаго нерва; а другая (Дрэпера) предполагаетъ, что свѣтовыя изображенiя внѣшнихъ предметовъ рисуются не въ толщѣ сѣтчатки, а на пигментномъ слоѣ ея; что свѣтовые лучи, поглащаясь здѣсь, переходятъ въ тепло и что слѣдовательно элементы палочнаго слоя, подобно концамъ кожныхъ нервовъ, возбуждаются не свѣтовыми, а термическими влiянiями. Параллельность между физiологическимъ, а термическимъ дѣйствiемъ лучей различной преломляемости Дрэперъ доказываетъ опредѣленiями распредѣленiя теплоты въ интерференцiонномъ спектрѣ, изъ которыхъ оказывается, что самая теплая часть спектра лежитъ въ желтыхъ лучахъ, производящихъ сильнѣйшiй физiологическiй эффектъ и что отсюда тепловое дѣйствiе уменьшается въ обѣ стороны (въ призматическомъ спектрѣ распредѣленiе тепла другое: оно идетъ наростая отъ фiолетоваго конца къ красному; это происходитъ отъ неравномѣрнаго разсѣянiя призмою лучей различной преломляемости). Въ пользу своей теорiи онъ приводитъ далѣе то обстоятельство, что въ глазахъ самыхъ простѣйшихъ формъ темный пигментъ непремѣнно встрѣчается какъ составная часть органа, и уже черезъ это одно соотвѣтствующая часть поверхности тѣла дѣлается чувствительнѣе прочихъ къ свѣту. Противъ теорiи Дрэпера, несмотря на ея округленность, есть однако одно очень важное возраженiе: извѣстно, что у многихъ животныхъ глаза свѣтятся ночью и что это проис-

ходитъ вслѣдствіе отраженія свѣта отъ глазнаго дна; слѣдовательно по крайней мѣрѣ у этихъ животныхъ слой, служащій подстилкой сѣтчаткѣ, разсчитанъ между прочимъ и на отраженіе свѣта.

Въ новѣйшее время появилось третье воззрѣніе на судьбу свѣта въ сѣтчаткѣ, принадлежащее М. Шульце. Онъ, какъ уже было сказано выше, нашелъ, что наконечники палочекъ и колбочекъ сильнѣе преломляютъ свѣтъ, чѣмъ самыя тѣла ихъ; кромѣ того извѣстно, что они легко отламываются отъ послѣднихъ и мгновенно чернѣютъ отъ осьміевой кислоты, а тѣла нѣтъ. На этомъ основаніи М. Шульце думаетъ, что наконечники суть побочные придатки къ нервнымъ концамъ и смотритъ на нихъ какъ на катоптрическіе снаряды, отражающіе свѣтъ въ направленіи отъ пигментнаго слоя внутрь глаза. По его мнѣнію, нервные концы возбуждаются только этимъ отраженнымъ свѣтомъ (доказательствъ въ пользу этого, кромѣ аналогіи съ безпозвоночными, у которыхъ концы зрительнаго нерва обращены прямо къ свѣту, онъ не приводитъ), и слѣдовательно поверхностью возбужденія служитъ граница между тѣломъ колбочки или палочки и наконечникомъ.

Проще было бы смотрѣть на наконечники, какъ на снаряды, въ которыхъ свѣтовое движеніе принимаетъ другую форму. При этомъ мѣстомъ возбужденія осталась бы та же граница, а между тѣмъ изъ гипотезы было бы устранено совершенно произвольное положеніе, что концы нерва могутъ возбуждаться только отраженнымъ свѣтомъ.

Условія возбудимости сѣтчатки свѣтомъ.

Изъ физіологическихъ условій, вліяющихъ на степень возбудимости сѣтчатой оболочки свѣтомъ, или на эффектъ этаго возбужденія — силу свѣтоваго ощущенія, извѣстны слѣдующія 5: величина освѣщенной поверхности, продолжительность освѣщенія, перерывистость возбужденія, и такъ называемые послѣдовательные и одновременные контрасты. О послѣднихъ трехъ условіяхъ рѣчь будетъ впереди, первое

же изъ нихъ, будучи сведено на реальныя основы, можетъ быть формулировано такъ: свѣтовое ощущеніе происходитъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ легче и бываетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ большее количество волоконъ возбуждается свѣтомъ. Этотъ законъ есть повидимому всеобщій для всѣхъ чувствующихъ поверхностей тѣла; по крайней мѣрѣ въ сферѣ кожныхъ и вкусовыхъ ощущеній онъ выражается чрезвычайно рѣзко. Какимъ однако устройствомъ нервныхъ центровъ достигается этотъ эффектъ суммированія отдѣльныхъ одновременныхъ возбужденій, остается неизвѣстнымъ.

Продолжительность освѣщенія играетъ въ дѣлѣ возбужденія сѣтчатой оболочки очень видную роль. До извѣстной границы она усиливаетъ свѣтовое ощущеніе, а затѣмъ дѣйствуетъ въ обратномъ направленіи, вызывая въ зрительномъ аппаратѣ явленія усталости. Изслѣдованія Брюке по первому пункту показали, что при раздраженіи глаза слабымъ и средней силы свѣтомъ дѣйствіе его должно продолжаться не менѣе 0,186 сек., чтобы вызвать возможное при данныхъ условіяхъ maximum свѣтоваго ощущенія. Объ явленіяхъ усталости зрительнаго нерва будетъ говорено ниже.

Возбужденіе зрительнаго нерва общими нервными раздражителями.

§ 37. Хотя зрительный нервъ возбуждается нормально только свѣтомъ, однако отсюда не слѣдуетъ еще, чтобы на него не дѣйствовали обычные нервные раздражители. Есть основаніе думать наоборотъ, что овъ возбудимъ ими въ такой же степени, какъ всякій другой нервъ. Съ полной увѣренностью это можетъ однако быть высказано только относительно двухъ общихъ раздражителей, такъ какъ термическое и химическое раздраженіе невозможно по самому положенію зрительнаго нерва у человѣка, а опыты надъ животными не могутъ вообще дать вѣрныхъ результатовъ относительно реакцій чувствующаго нерва. Механическое и электрическое раздраженіе очень легко дѣйствуютъ на зрительный нервъ и возбуждаютъ его къ специфической дѣятельности, другими словами, всегда вызываютъ свѣтовое ощущеніе.

Раздражать механически концы зрительнаго нерва можно очень легко, давленіемъ на глазное яблоко. Если давленіе сильно и быстро, какъ напримѣръ ударъ, то въ глазахъ появляются какъ будто молніи, освѣ-

щающія все поле зрѣнія. Такого результата слѣдовало ожидать заранѣе, потому что сильный толчекъ, производя равномѣрное сотрясеніе всѣхъ нервныхъ волоконъ, долженъ возбудить ихъ всѣ въ одинаковой степени.

Умѣреннымъ давленіемъ на яблоко какимъ нибудь тупымъ предметомъ можно ограничить механическое раздраженіе сѣтчатой оболочки извѣстнымъ мѣстомъ и продолжать его долгое время. При такомъ условіи легко наблюдать дѣйствіе механическаго раздраженія. Если давить напр. концомъ пальца на глазное яблоко, гдѣ нибудь около края глазницы, то въ полѣ зрѣнія, и всегда со стороны противуположной мѣсту давленія, получается ясно ограниченное свѣтлое пятно, такъ называемый фосфенъ. Причина несовпаденія мѣста давленія и ощущенія объясняется тѣмъ, что образъ относится сознаніемъ наружу въ томъ направленіи, въ которомъ долженъ бы былъ лежать свѣтящійся предметъ, если бы онъ былъ источникомъ даннаго ощущенія. Свѣтлая фигура, появляющаяся въ темномъ полѣ зрѣнія при давленіи тупымъ концомъ какого нибудь тѣла на глазъ, состоитъ большею частью изъ трехъ концентрическихъ колецъ, темныхъ и свѣтлыхъ попеременно. Если на сѣтчатую оболочку падаетъ въ тоже время объективный свѣтъ, то фигура кажется темной на свѣтломъ полѣ, однако съ большимъ отличіемъ цвѣта и освѣщенія. Слѣдовательно можно сказать вообще, что мѣсто сѣтчатой оболочки, претерпѣвающее давленіе, менѣе чувствительно къ свѣту, чѣмъ другія.

Существуютъ еще разныя другія явленія, причина которыхъ лежитъ, по всей вѣроятности, въ механическомъ раздраженіи сѣтчатой оболочки; но ихъ можно вызывать легко не во всякомъ глазѣ. Къ нимъ принадлежитъ напр. явленіе такъ называемаго аккомодативнаго фосфена, который былъ замѣченъ впервые Пуркинье. Объясненіе этому явленію было приведено выше.

Къ области же механическаго раздраженія сѣтчатой оболочки принадлежатъ вѣроятно безсчетныя субъективныя свѣтовыя ощущенія, появляющіяся безъ всякихъ внѣшнихъ раздраженій. Ихъ наблюдаютъ всего чаще при приливахъ крови къ головѣ; поэтому возможно, что причина раздраженія лежитъ въ усиленномъ давленіи крови въ сосудахъ глазнаго яблока. Тутъ можетъ принимать участіе и химическое раздраженіе посторонними веществами, введенными въ кровь, особенно если отдаленной причиной было принятіе внутрь ядовитыхъ, и въ особенности наркотическихъ веществъ. Такъ какъ разбираемыя нами возбужденія зрительнаго нерва появляются преимущественно при ненормальномъ состояніи всего тѣла, то болѣзненно разстроенное воображеніе часто облекаетъ ихъ въ опредѣленныя фантазмы.

И у совершенно здоровыхъ людей сѣтчатая оболочка не остается свободной отъ всякаго раздраженія. Если при совершенномъ отсутствіи свѣта (при закрытыхъ глазахъ въ темной комнатѣ) разсматривать внимательно поле зрѣнія, то нельзя будетъ не замѣтить въ немъ болѣе свѣтлыхъ и болѣе темныхъ пятенъ. Первыя мѣняютъ обыкновенно свою форму и положеніе. Кромѣ того степень освѣщенія мѣняется съ дыха-

тельными движеніями, которыя имѣютъ, какъ извѣстно, большое вліяніе на оттокъ венной крови. Свободнымъ отъ раздраженія не бываетъ, можно сказать, ни одно мѣсто сѣтчатой оболочки; поэтому ей и приписываютъ, какъ говорится, «собственный свѣтъ». Причина явленія заключается, конечно, прежде всего, въ постоянномъ, но очень легкомъ, раздраженіи зрительнаго аппарата, и вѣроятно кровью, протекающей по центральнымъ и периферическимъ частямъ органа.

Возбуждать зрительный нервъ электричествомъ очень легко. Для этаго достаточно очень слабаго гальваническаго тока. При замыканіи и размыканіи его замѣчается каждый разъ свѣтъ, разлитый по всему полю зрѣнія. Если при этихъ опытахъ обращать вниманіе на частныя условія, то легко замѣтить, что ощущеніе сильнѣе при замыканіи восходящаго тока и размыканіи нисходящаго, чѣмъ наоборотъ.

Если брать болѣе сильные токи, то свѣтовыя ощущенія продолжаются и во все время дѣйствія тока. При восходящемъ направленіи— темное поле закрытаго глаза дѣлается свѣтлѣе и кажется блѣдно-фіолетовымъ; при нисходящемъ токѣ поле темнѣе и окрашено желтымъ. Эти явленія основаны не столько на самомъ раздраженіи элементовъ зрительнаго нерва, сколько на измѣненіи ихъ возбужденнаго состоянія Они будутъ въ самомъ дѣлѣ вполнѣ согласоваться съ Пфлюгеровскими законами измѣненія раздражительности мышечныхъ нервовъ постояннымъ токомъ, если принять, что нормальныя раздраженія, обусловливающія собственный свѣтъ сѣтчатой оболочки, падаютъ на центральные концы зрительныхъ волоконъ. Восходящій токъ приводитъ при такомъ условіи эти концы въ состояніе катэлектротона, т. е. повышенной раздражительности. Нисходящій токъ, наоборотъ, уменьшаетъ раздражительность центральныхъ концевъ, приводя ихъ въ состояніе анэлектротона. Слѣдовательно при восходящемъ токѣ собственный свѣтъ сѣтчатой оболочки долженъ усилиться, а при нисходящемъ наоборотъ. Это и наблюдается въ дѣйствительности.

Условія на переферіи зрительнаго нерва для видѣнія плоскостныхъ формъ.

§ 38. Живопись показываетъ, что характеръ видимыхъ внѣшнихъ предметовъ вполнѣ опредѣляется очертаніями (и вообще плоскостною формою) ихъ, величиною, окрашенностью, распредѣленіемъ по поверхности свѣта и тѣней и пр. Хотя въ конкретномъ зрительномъ актѣ всѣ эти признаки даны разомъ, однако легко понять, что условія происхожденія дискретныхъ ощущеній, сливающихся въ цѣлое, должны быть различны между собою. За это говоритъ уже наша способ-

ность разлагать конкретное зрительное ощущеніе на составные элементы, напр. выдѣлять изъ него въ представленіи одну плоскостную форму, окрашенность, или прочіе признаки. Всего же сильнѣе въ пользу этого различія будутъ говорить научныя данныя, составляющія содержаніе настоящаго и послѣдующихъ параграфовъ.

Въ настоящее время мы займемся опредѣленіемъ условій на периферическомъ концѣ зрительнаго аппарата для видѣнія плоскостныхъ формъ внѣшнихъ предметовъ.

Извѣстно, что всякій предметъ внѣшняго міра, какъ бы сложенъ онъ ни былъ, можно изобразить въ плоскости посредствомъ отдѣльныхъ точекъ, лежащихъ близко другъ отъ друга. Это всего лучше показываютъ мозаическія картины, въ которыхъ каждый камушекъ представляетъ, такъ сказать, отдѣльную точку. Форма предмета выходитъ конечно тѣмъ отчетливѣе и чище, чѣмъ мельче отдѣльныя точки картины и чѣмъ ближе онѣ лежатъ другъ къ другу; но взаимное касаніе ихъ вовсе не составляетъ необходимаго условія для выясненія фигуры предмета: форма круга напр., или эллипса, или вообще какой-нибудь кривой линіи, опредѣляется для сознанія одинаково ясно какъ сплошною, такъ и пунктированною линіею.

На этомъ основаніи и можно сказать вообще, что всякій плоскостный образъ предмета можетъ быть разложенъ на отдѣльныя точки, лежащія болѣе или менѣе близко другъ отъ друга.

Съ другой стороны мы уже знаемъ, что чувствующая поверхность глаза, на которую падаютъ свѣтовыя изображенія предметовъ, имѣетъ форму мозаичной поверхности, въ которой роль отдѣльныхъ камушковъ играютъ поперечные разрѣзы колбочекъ и палочекъ, представляющихъ концевые аппараты отдѣльныхъ нервныхъ волоконъ. Кромѣ того изъ общей физіологіи нервной системы извѣстно, что первичнымъ

нервнымъ волокнамъ приписывается свойство изолированнаго проведенія возбужденій.

Не естественно ли думать послѣ этого, что основное условіе видѣнія плоскостныхъ формъ сводится на ощущеніе въ отдѣльности различныхъ точекъ свѣтоваго образа, причемъ элементы палочнаго слоя играютъ роль единицъ въ дѣлѣ перцепціи свѣта, т. е. воспринимаютъ пучки свѣтовыхъ лучей, падающіе на ихъ поперечные разрѣзы, отдѣльно другъ отъ друга.

Гипотеза эта, сверхъ приведенныхъ въ ея пользу теоретическихъ соображеніи, имѣетъ за себя и нѣсколько положительныхъ данныхъ.

1) Свѣтовые лучи отъ внѣшнихъ предметовъ, преломившись въ глазу, падаютъ на поперечные разрѣзы палочекъ и колбочекъ подъ очень малыми углами; тѣла же эти имѣютъ призматическую форму; слѣдовательно свѣтъ, распространяясь по длинѣ ихъ, претерпѣваетъ въ каждомъ элементѣ полное внутреннее отраженіе и остается такимъ образомъ изолированнымъ отъ сосѣднихъ палочекъ и колбочекъ.

2) Гипотеза наша предполагаетъ такое устройство воспринимающей поверхности, при которомъ ощущеніе плоскостной формы можетъ получаться разомъ, при совершенной неподвижности разсматривающаго глаза. Это такъ и бываетъ въ дѣйствительности, если разсматриваемая фигура занимаетъ не очень большое пространство. Если напримѣръ въ совершенно темной комнатѣ освѣтить электрической искрой, длящейся едва-ли не милліонныя доли одной секунды, листъ бумаги съ начерченной на немъ фигурой, то глазъ получитъ ясное ощущеніе послѣдней, а между тѣмъ ему невозможно произвести движенія въ столь короткій промежутокъ времени. Мы увидимъ впрочемъ далѣе, что при разсматриваніи очень мелкихъ деталей предметовъ незначительныя движенія оказываются полезными глазу и онъ употребляетъ ихъ въ дѣло.

3) По смыслу нашей гипотезы, чѣмъ мельче воспринимающія свѣтъ единицы, т. е. чѣмъ большее число ихъ лежитъ въ данномъ участкѣ сѣтчатки, тѣмъ отчетливѣе должно быть ощущеніе падающаго на этотъ участокъ образа.— Въ глазу это дѣйствительно имѣетъ мѣсто, если за воспринимающія единицы принять колбочки. Легко доказать въ самомъ дѣлѣ, что желтое пятно сѣтчатки, на которое падаютъ обыкновенно образы разсматриваемыхъ предметовъ, есть мѣсто наиболѣе тонкаго видѣнія; а между тѣмъ извѣстно, что именно желтое пятно представляетъ такой участокъ сѣтчатки, въ которомъ скучены колбочки всего гуще. Убѣдиться въ первомъ чрезвычайно легко: если напр. открыть страницу книги и разомъ взглянуть на нее, то хотя въ сознаніи и получается общее впечатлѣніе отъ всей страницы, но собственно прочитать глазъ можетъ, при совершенно неподвижномъ положеніи, только тѣ буквы, на которыя онъ, какъ говорится, смотритъ, т. е. буквы, которыхъ образы падаютъ на его желтое пятно. При неподвижности фиксаціи я могу видѣть напр. на страницѣ обыкновенной печати совершенно ясно никакъ не болѣе пяти или шести буквъ разомъ, разсматривая ихъ съ разстоянія въ 216 мм. (8″); 6 буквъ занимаютъ въ длину пространство не болѣе 7 мм., слѣдовательно длинникъ ихъ образа на сѣтчаткѣ не доходитъ до 0,5 мм. т. е. далеко не занимаетъ поперечнаго длинника даже желтаго пятна. Стало быть даже въ самомъ желтомъ пятнѣ центральныя части, т. е. fovea centralis, видятъ тоньше периферическихъ. Параллельно съ этимъ въ желтомъ пятнѣ идетъ, какъ мы знаемъ, уменьшеніе діаметровъ тѣлъ колбочекъ въ направленіи отъ периферіи къ центру. Что касается до боковыхъ частей сѣтчатки, то сравнительная тупость видѣнія ими мелкихъ плоскостныхъ формъ можетъ объясняться не только меньшею густотою распредѣленія здѣсь воспринимающихъ единицъ, т. е. колбочекъ, но и тѣмъ обстоятель-

ствомъ, что аккомодативныя движенія глаза разсчитаны на ясность образовъ только въ желтомъ пятнѣ, слѣдовательно, когда здѣсь получаются ясныя изображенія, на боковыхъ частяхъ сѣтчатки образуются круги свѣторазсѣянія.

4) Послѣднимъ, и самымъ главнымъ, пробнымъ камнемъ нашей гипотезы считались до послѣдняго времени опыты опредѣленія наименьшаго ощутимаго разстоянія между двумя образами на сѣтчаткѣ, сравнительно съ поперечниками воспринимающихъ единицъ. Дѣло здѣсь вотъ въ чемъ: если колбочка есть дѣйствительно воспринимающая свѣтъ единица, то она должна обладать свойствомъ изолировать падающіе на ея поперечный разрѣзъ лучи отъ сосѣднихъ элементовъ и кромѣ того возбуждаться пучкомъ лучей, не занимающимъ всей площади ея поперечнаго разрѣза такимъ образомъ, какъ будто бы этими лучами была освѣщена вся ея площадь; — поэтому двѣ близь лежащія свѣтящіяся точки должны видѣться уже отдѣльно другъ отъ друга, если въ промежуткѣ между ихъ образами на сѣтчаткѣ лежитъ сфера даже одной колбочки, не возбужденная свѣтомъ; или наоборотъ, двѣ темныя точки должны видѣться отдѣльно другъ отъ друга, если въ промежуткѣ между ними лежитъ освѣщенная сфера одной колбочки.

Развить эту мысль въ опытъ съ виду легко: стоитъ только измѣрить наименьшее разстояніе между двумя свѣтящимися (или темными) точками, или линіями, при которомъ онѣ видятся еще отдѣльно другъ отъ друга, и въ тоже время опредѣлить разстояніе этихъ точекъ или линій отъ разсматривающаго ихъ глаза; тогда легко вычисляется величина промежутка между ихъ образами на сѣтчаткѣ. Съ другой стороны микроскопическое изслѣдованіе элементовъ палочнаго слоя даетъ непосредственно размѣры поперечниковъ колбочекъ въ центральномъ углубленіи сѣтчатки. Простота этихъ опытовъ есть однако лишь кажущаяся; лучшимъ доказательствомъ

противнаго служатъ существующія въ настоящее время разнорѣчія между изслѣдователями.

Фолькманъ, измѣряя величину наименьшаго ощутимаго разстоянія между двумя черными линіями на свѣтломъ фонѣ, убѣдился во первыхъ, что тонкость видѣнія, по мѣрѣ упражненія глаза, значительно изощряется и во вторыхъ, что при этихъ тонкихъ опытахъ становятся чувствительными несовершенства нашего діоптрическаго снаряда, производящія расплываніе контуровъ темныхъ линій и съуженіе свѣтлаго промежутка между ними (въ этомъ онъ убѣдился слѣдующимъ образомъ: желая сдѣлать на глазъ ширину промежутка между черными линіями равнымъ толщинѣ самыхъ линій, онъ всегда дѣлалъ его шире чѣмъ слѣдовало; это, очевидно, могло произойти только отъ расплыванія контуровъ черныхъ линій и утолщенія послѣднихъ на счетъ свѣтлаго промежутка). Черезъ это, по его мнѣнію, величина ощутимаго свѣтлаго промежутка на сѣтчаткѣ уменьшается противъ соотвѣтствующей величины, выводимой изъ дѣйствительнаго разстоянія между линіями путемъ вычисленія, и именно на величину иррадіаціи той и другой линіи въ сторону промежутка. Среднюю величину дѣйствительнаго наименьшаго разстоянія между черными линіями онъ нашелъ въ своихъ опытахъ = 0,0042 мм.; а среднюю величину иррадіаціи = 0,0020 мм.; слѣдовательно средняя истинная наименьшая величина ощутимаго промежутка по его опытамъ = 0,0022 мм.; а въ отдѣльныхъ случаяхъ она была даже часто значительно меньше. Сравнивая эту величину съ числами для толщины тѣлъ колбочекъ въ желтомъ пятнѣ, полученными М. Шульце и Г. Мюллеромъ (0,0025—0,0030 мм.), Фолькманнъ думаетъ, что воспринимающія свѣтъ единицы должны быть мельче колбочекъ.

Противъ послѣдняго вывода возстаетъ Функе. Фолькманнъ, какъ читатель видѣлъ, принимаетъ въ своихъ опытахъ иррадіацію только черныхъ линій на счетъ свѣтлаго

промежутка, а не наоборотъ, и выводитъ это изъ того обстоятельства, что при данной формѣ опыта объэктомъ для сознанія является не свѣтлый фонъ, а темная линіи; Функе же думаетъ, что по сущности задачи такимъ объектомъ долженъ быть наоборотъ свѣтлый промежутокъ, слѣдовательно расплываться долженъ онъ на счетъ черныхъ линій, а не наоборотъ. Отсюда естественно слѣдуетъ, что наименьшая ощутимая величина промежутка, выводимая изъ дѣйствительнаго разстоянія между линіями, должна быть не больше истинной, какъ думаетъ Фолькманнъ, а наоборотъ меньше; и слѣдовательно опыты Фолькманна скорѣе подтверждаютъ, чѣмъ опровергаютъ мысль о разбираемомъ значеніи колбочекъ.

Болѣе серьезныя данныя заключаются, по моему убѣжденію, въ изслѣдованіяхъ Обера, которыми онъ старался опредѣлить наименьшую величину образа на сѣтчаткѣ, способную вообще вызвать ощущеніе. Для этой цѣли онъ разсматривалъ съ различныхъ разстояній маленькія черныя или бѣлыя поверхности на сѣромъ фонѣ и опредѣлялъ уголъ зрѣнія, при которомъ объектъ переставалъ выдѣляться изъ поля. Сѣрый фонъ, производившійся въ его опытахъ вертящимся кружкомъ, поставленнымъ позади объекта, употреблялся имъ съ цѣлью смягчить контрастъ между предметомъ и фономъ, такъ какъ предварительные опыты показали ему, что величина иррадіаціи зависитъ именно отъ силы контраста. Величина искомаго образа оказалась какъ разъ равною діаметру колбочки въ центральномъ углубленіи (0,0025 мм.). Къ сожалѣнію опыты эти дѣлались при сравнительно слабомъ освѣщеніи (при разсѣянномъ дневномъ свѣтѣ), а между тѣмъ осталось нерѣшеннымъ, не вліяетъ ли усиленіе послѣдняго на дальнѣйшее уменьшеніе найденнаго образа на сѣтчаткѣ; по этому опыты Обера тоже не рѣшаютъ вполнѣ дѣла.

Независимо отъ приведенныхъ разногласій, рѣшеніе нашего вопроса усложняется еще тѣмъ обстоятельствомъ, что толщина

колбочекъ не на всей ихъ длинѣ представляется одинаковой; слѣдовательно является возможность сравнивать опредѣленную разъ величину наименьшаго ощутимаго промежутка съ величинами колеблющимися между 0,003 мм. и 0,0005 мм. Первая изъ нихъ соотвѣтствуетъ діаметру тѣла палочки центральнаго углубленія въ самомъ толстомъ мѣстѣ, а вторая, по М. Шульце, діаметру ея наконечника около верхушки. Поэтому не удивительно, что одни изслѣдователи за элементъ чувствующей мозаики принимаютъ площадь тѣла колбочки, а другіе разрѣзъ ея наконечника. Въ пользу послѣдней возможности высказался первый Гензенъ, а М. Шульце дополнилъ его мысль тѣмъ, что въ непремѣнныя условія видѣнія мелкихъ плоскостныхъ формъ опъ ввелъ моментъ незначительныхъ передвиженій глазнаго яблока, сопровождающихъ всякое усиленное разсматриваніе предметовъ. Безъ послѣдней прибавки мысль Гензена не достигала бы въ самомъ дѣлѣ цѣли, потому что, при абсолютной неподвижности глаза, данной поверхности образа на сѣтчаткѣ соотвѣтствовало бы одинаковое число перципирующихъ элементовъ, будутъ ли послѣдними тѣла колбочекъ или ихъ наконечники; съ помощью же Шульцевой прибавки видѣніе промежутка между двумя близкими образами сводится на условіе, когда при передвиженіяхъ глаза въ сферу этаго промежутка попадаетъ одинъ наконечникъ.

Читатель видитъ такимъ образомъ, что если вопросъ о разбираемомъ значеніи колбочекъ желтаго пятна и не рѣшается только что описаннымъ путемъ съ положительностью, послѣдній не представляетъ ни единаго факта, который окончательно противорѣчилъ бы мысли, что колбочки дѣйствительно играютъ роль единицъ въ дѣлѣ точечнаго видѣнія плоскостныхъ формъ. Съ другой стороны первые три довода говорятъ очень сильно въ пользу развитой гипотезы; по этому въ настоящее время едва ли найдется физіологъ который сомнѣвался бы въ ея истинности. Это относится впрочемъ только къ элементамъ

желтаго пятна, потому что въ боковыхъ частяхъ сѣтчатки воспринимающая свѣтъ мозаика состоитъ изъ смѣшенія колбочекъ съ палочками, функція же послѣднихъ въ дѣлѣ перцепціи плоскостныхъ формъ совершенно не извѣстна.

§ 39. Описаннымъ устройствомъ чувствующей поверхности сѣтчатки легко объясняется самая главная сторона акта видѣнія плоскостныхъ формъ—способность глаза видѣть сразу всю массу точекъ предмета и выдѣлять изъ нихъ по произволу ту или другую группу. Первымъ дается возможность видѣнія всей фигуры предмета разомъ, вторымъ — выдѣленіе изъ общей картины деталей. Ощущеніе перваго рода, бываетъ вообще значительно неопредѣленнѣе втораго, такъ какъ при этомъ до сознанія доходятъ, собственно говоря, лишь наиболѣе рѣзкія черты предмета, напр. контуры его, въ случаѣ если они рѣзко отдѣляются отъ фона, наиболѣе ярко освѣщенныя мѣста, рѣзкія тѣни и пр. Неопредѣленность общаго ощущенія увеличивается тѣмъ болѣе, что обыкновенно глазъ останавливается на немъ очень короткое время и переходитъ къ разсматриванію деталей. Здѣсь то и начинается аналитическая работа элементовъ центральнаго углубленія сѣтчатки—изъ общаго неопредѣленнаго образа выступаютъ ярко только тѣ точки предмета, которыхъ изображенія падаютъ на названные элементы, оттого и кажется, что глазъ какъ бы выдѣляетъ изъ общей картины тѣ или другія подробности. Въ этомъ анализѣ, воспомоществуемомъ движеніями глазнаго яблока, можетъ показаться темнымъ лишь одно — способность глаза (или, какъ говорятъ обыкновенно, вниманія) выдѣлять преимущественно ту или другую точку даже изъ ощущенія такихъ мелкихъ формъ, которыхъ образъ навѣрное не заходитъ за границы центральнаго углубленія. Выводить изъ этого заключеніе, что не всѣ точки послѣдняго обладаютъ равною аналитическою способностью, было бы однако поспѣшно. Въ большинствѣ случаевъ свойство это можетъ

быть объяснено несходствомъ различныхъ точекъ образа, черезъ что сознанію дается возможность останавливаться на каждой изъ нихъ въ отдѣльности. Съ другой стороны не нужно забывать, что уже самое относительное положеніе точекъ въ плоскости есть условіе для различенія ихъ другъ отъ друга.

ВИДѢНІЕ ЦВѢТОВЪ.

Задача и планъ изслѣдованія.

§ 40. Всякій знаетъ конечно изъ обыденной жизни, на какое безконечное разнообразіе цвѣтныхъ ощущеній способенъ глазъ человѣка. Съ другой стороны легко убѣдиться самыми простыми опытами, что одно и тоже мѣсто центральнаго углубленія сѣтчатки способно возбуждаться лучами любаго окрашенія. Если фиксировать напр. глазомъ какую нибудь точку въ пространствѣ и затѣмъ измѣнять окрашеніе ея, то глазъ, оставаясь въ одномъ и томъ же положеніи, ощущаетъ каждую перемѣну цвѣта.

Изъ этаго очевидно слѣдуетъ, что первая задача изученія акта видѣнія цвѣтовъ должна заключаться въ опредѣленіи условій, при посредствѣ которыхъ всякая точка сѣтчатки, или по крайней мѣрѣ всякая точка ея центральнаго углубленія, способна возбуждаться милліонами различно-окрашенныхъ свѣтовыхъ лучей.

Этимъ изученіемъ исчерпывается сумма явленій, составляющихъ начало акта видѣнія цвѣтовъ.

Продолженіемъ его служатъ процессы возбужденія въ сферѣ волоконъ зрительнаго нерва. Заключаютъ ли они въ себѣ нѣчто специфическое, отличающее ихъ отъ родственныхъ процессовъ въ сферѣ другихъ нервовъ тѣла, остается, строго говоря, неизвѣстнымъ, потому что до сихъ поръ вопросъ

этотъ оказывается мало доступнымъ для опытнаго изслѣдованія. Поэтому современная физiологическая школа принуждена довольствоваться пока немногими, такъ сказать, косвенными аналогіями между волокнами зрительнаго и прочихъ нервовъ тѣла въ дѣлѣ проведенія возбужденій (напр. тождествомъ ихъ формы, одинаковостью реакцій на механическое и электрическое раздраженіе, способностью зрительнаго нерва вызывать при раздраженіи свѣтомъ рефлексы въ нѣкоторыхъ мышцахъ и пр.), — аналогіями, на основаніи которыхъ она считаетъ процессъ возбужденія въ сферѣ зрительныхъ волоконъ за тождественный съ соотвѣтствующими процессами въ другихъ нервахъ тѣла.

Концомъ нашего ученія должно бы было быть опредѣленіе механизма происхожденія самыхъ цвѣтныхъ ощущеній; но къ сожалѣнію наука наша еще совершенно безсильна передъ подобными вопросами.

Такимъ образомъ изъ трехъ задачъ, обнимающихъ собою вопросъ о видѣніи цвѣтовъ, рѣшенію нашему подлежитъ только первая. Да и она, въ высказанной выше формѣ, не допускаетъ его, потому что представляетъ слишкомъ большое, притомъ неопредѣленное, число частныхъ случаевъ. Поэтому, чтобы сдѣлать рѣшеніе ея возможнымъ, необходимо прежде всего привести всю сумму цвѣтныхъ ощущеній въ опредѣленную систему и потомъ стараться свести все безконечное разнообразіе ихъ на возможно меньшее число основныхъ ощущеній. Черезъ это упрощеніе цѣль наша очевидно сдѣлается достижимой.

§ 41. Извѣстно изъ физики, что всѣ безъ исключенія тѣла внѣшняго міра, не издающія собственнаго свѣта (подобно солнцу, раскаленнымъ тѣламъ и пр.), становятся доступными глазу и представляютъ то или другое окрашеніе только подъ условіемъ, если заимствуютъ свѣтъ отъ какого нибудь посторонняго источника и отражаютъ его отъ своей поверхности Систематизированіе цвѣтныхъ ощущеній.

и болѣе или менѣе глубокихъ слоевъ. Другими словами, всѣ цвѣтные лучи, издаваемые такими предметами, должны выходить изъ того источника свѣта, который дѣлаетъ ихъ доступными глазу. Въ этомъ смыслѣ всѣ лучи несамосвѣтящихся предметовъ, видимыхъ при посредствѣ дневнаго свѣта, выходятъ изъ солнца; тѣ, которые идутъ отъ предметовъ при освѣщеніи свѣчкой — выходятъ изъ послѣдней и пр. Послѣ этаго понятно, что вся вообще сумма цвѣтныхъ ощущеній, на которыя только способенъ человѣческій глазъ при дневномъ освѣщеніи, вызывается собственно лучами, заключенными въ свѣтѣ солнца; — ощущенія при свѣтѣ лампы — лучами отъ послѣдней и пр. Это-то обстоятельство и даетъ возможность систематизировать всю сумму цвѣтныхъ ощущеній, сводя ихъ на опредѣленное число причинъ, т. е. на простые, (цвѣтные) лучи, входящіе въ составъ солнечнаго свѣта.

Солнечный спектръ доказываетъ возможность этаго упрощенія непосредственнымъ образомъ: въ немъ, на сравнительно маленькомъ, и притомъ ясно ограниченномъ для глазъ пространствѣ *), собраны всѣ тѣ свѣтовые лучи, которыми вы-

*) Строго говоря, призматическій спектръ не имѣетъ совершенно рѣзкихъ границъ для глаза ни на красномъ, ни на фіолетовомъ концѣ; и здѣсь и тамъ сила свѣта ослабѣваетъ совершенно постепенно. Неопредѣленность видимой границы особенно сильна на фіолетовомъ концѣ. Здѣсь, за непосредственно видимымъ предѣломъ спектра, лежатъ, какъ извѣстно, такъ называемые зафіолетовые лучи, дѣлающіеся доступными глазу только при искуственныхъ пособіяхъ; напр. при помощи нѣкоторыхъ флюоресцирующихъ тѣлъ (раствора кислаго сѣрнокислаго хинина, глазнаго хрусталика и пр.). Впрочемъ, если взять для разложенія солнечнаго свѣта не простую стеклянную, а кварцовую, призму (стекло пропускаетъ мало зафіолетовыхъ лучей) и затѣмъ, тщательно выдѣливъ изъ спектра одинъ зафіолетовый конецъ, разсматривать его въ зрительную трубку съ кварцовыми же стеклами, то глазъ непосредственно видитъ зафіолетовый спектръ, съ свойственными и ему темными Фраунгоферовскими линіями (отъ L до R включительно). Цвѣтное ощущеніе, вызываемое этими лучами, можно назвать бѣловато-индиговымъ (очень вѣроятно, что въ качественной сторонѣ его принимаетъ участіе

зывается весь безконечный рядъ цвѣтныхъ ощущеній. Предѣлы этаго ряда можно даже выразить числами, если свести качественную сторону ощущеній на длину волнъ простыхъ лучей солнечнаго спектра. По Гельмгольтцу, длина волнъ самыхъ крайнихъ красныхъ лучей, доступныхъ еще глазу (около Фраунгоферовской линіи A) = 0,0007617 мм.; а соотвѣтствующая величина самыхъ крайнихъ зафіолетовыхъ лучей (около линіи R) = 0,0003108 мм. Эти два числа и представляютъ, такъ сказать, крайнія границы цвѣтныхъ ощущеній.

Разсматривая призматическій спектръ внимательнѣе, нетрудно убѣдиться однако, что хотя сведеніе неопредѣленнаго числа цвѣтныхъ ощущеній на ограниченную сферу спектральныхъ (простыхъ) лучей и подвигаетъ нашъ вопросъ впередъ, но далеко еще не упрощаетъ его. — На ограниченномъ пространствѣ спектра существуютъ, собственно говоря, милліоны различныхъ цвѣтныхъ оттѣнковъ, потому что переходы изъ одного цвѣтнаго тона въ другой совершаются въ немъ съ крайней постепенностью. Въ пользу того же говорятъ и приведенныя выше предѣльныя числа для длины свѣтовыхъ волнъ, способныхъ возбуждать сѣтчатку: — всякому числу, лежащему между этими предѣлами, соотвѣтствуетъ, такъ сказать, отдѣльная свѣтлая полоска въ спектрѣ, отличающаяся по цвѣту отъ всѣхъ прочихъ (за исключеніемъ тѣхъ чиселъ, которыя падаютъ на участки, занимаемые Фраунгоферовскими линіями). Какъ же поступить въ виду этаго обстоятельства?

Проще всего — выдѣлить изъ солнечнаго спектра самые характерные цвѣтные тоны, отбросить переходные оттѣнки и принять, что солнечный свѣтъ состоитъ какъ будто только изъ первыхъ. Но это возможно конечно лишь подъ условіемъ, если

флюресценція самой сѣтчатки, характеризирующаяся бѣло-зеленоватымъ цвѣтомъ). Существованіе закрасныхъ лучей, доказывается, какъ извѣстно, одними тепловыми явленіями.

смѣшеніемъ избранныхъ цвѣтныхъ тоновъ можно возстановить бѣлый цвѣтъ солнечнаго свѣта, и кромѣ того вывести изъ дѣйствія ихъ на сѣтчатку всю систему цвѣтныхъ ощущеній.

Задача эта выполнена была въ первый разъ уже Ньютономъ.

Выходя изъ внѣшней аналогіи между слуховыми и цвѣтными ощущеніями, онъ расположилъ тоны солнечнаго спектра по тому же принципу, по которому расположены тоны и полутоны музыкальной скалы, и раздѣлилъ спектральное пространство, видимое глазомъ (приблизительно между линіями B и H), на 7 участковъ, которыхъ ширины были пропорціональны величинамъ интерваловъ музыкальной скалы *).

*) Такая, или по крайней мѣрѣ подобная, исходная точка при выборѣ характерныхъ цвѣтныхъ тоновъ изъ спектра была необходима, потому что давала этому выбору объективную опору—безъ нея онъ становился бы дѣломъ чисто произвольнымъ. Въ этомъ смыслѣ исходная точка Ньютона совершенно законна. Когда однако послѣдующія открытія дали возможность свести разницу простыхъ лучей солнечнаго спектра на количественныя различія лежащихъ въ основѣ ихъ колебаній, аналогія между отношеніями основныхъ цвѣтовъ Ньютона и тонами музыкальной октавы оказалась несостоятельной.

Это всего лучше видно изъ слѣдующей таблицы, въ которой числа колебаній, соотвѣтствующія опредѣленнымъ мѣстамъ спектра, расположены въ томъ самомъ взаимномъ отношеніи, въ которомъ стоятъ между собою числа колебаній полутоновъ въ музыкальной скалѣ (за основной тонъ *c* взятъ желтый цвѣтъ).

Fis	конецъ красн. луч.	fis	фіолет.
G	красн. лучи	g	за-фіолет.
Gis	красн.	gis	за-фіолет.
A	красн.	*a*	за-фіолет.
B	красно-оранж.	*b*	за-фіолет.
H	оранж.	*h*	конецъ спектра.
c	желт.		
cis	зелен.		
d	зелено-голуб.		
dis	голуб.		
e	синіе		
f	фіолет.		

Изъ этой таблицы, въ которой тоны, образующіе октавы, стоятъ параллельно другъ другу, сейчасъ видно, что въ срединѣ спектра, въ

На эти участки и пришлись 7 главныхъ цвѣтовъ Ньютона: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій и фіолетовый. За выборомъ слѣдовалъ общеизвѣстный опытъ смѣшенія основныхъ цвѣтовъ посредствомъ вертящагося кружка, и результатъ оправдалъ выборъ.

Оставалось найти путь для перехода отъ основныхъ ощущеній, вызываемыхъ избранными лучами, къ системѣ конкретныхъ цвѣтныхъ ощущеній вообще.

Путь для этого, какъ показали послѣдующія изслѣдованія, можетъ быть двоякій:

1) всю систему цвѣтныхъ ощущеній можно вывести изъ основныхъ цвѣтовъ Ньютона, если качественную сторону каждаго ощущенія поставить въ зависимость не только отъ длины соотвѣтствующихъ ему свѣтовыхъ волнъ, но еще отъ количества цвѣтнаго свѣта и отъ количества примѣшанныхъ къ нему бѣлыхъ лучей. Первою перемѣнною, т. е. длиною волнъ, опредѣляется основной цвѣтной характеръ ощущенія (т. е. принадлежитъ ли данный цвѣтъ къ отдѣлу красныхъ, желтыхъ, зеленыхъ и пр. тоновъ); второю — большая или меньшая яркость ощущенія (въ случаѣ, если предметъ посылаетъ въ глазъ наблюдателя мало окрашенныхъ лучей, то онъ кажется темнымъ, съ увеличеніемъ же этого количества цвѣтъ его становится ярче и ярче); а третьей — та сторона ощущенія, которую можно выразить словомъ „насыщенность цвѣта“ [отъ примѣси бѣлыхъ лучей къ окрашеннымъ, основной цвѣтной тонъ становится жиже и жиже, или, какъ говорятъ очень дурно по русски, свѣтлѣе и свѣтлѣе].

2) Всю систему цвѣтныхъ ощущеній можно вывести изъ

обѣ стороны отъ желтаго цвѣта, различіямъ колебаній на величину одного полутона соотвѣтствуютъ очень рѣзкія измѣненія въ характерѣ цвѣтныхъ ощущеній; а на концахъ спектра измѣненія эти наоборотъ слабы. Это-то обстоятельство и разрушаетъ аналогію между различіемъ цвѣтныхъ ощущеній и интервалами музыкальныхъ тоновъ.

основныхъ цвѣтовъ Ньютона путемъ смѣшенія послѣднихъ въ различныхъ пропорціяхъ по 2, по 3 и т. д. Этотъ путь очевидно естественнѣе перваго, потому что результаты спектральнаго анализа лучей, выходящихъ изъ несамосвѣтящихся окрашенныхъ тѣлъ внѣшняго міра, въ большинствѣ случаевъ не могутъ быть объяснены смѣшеніемъ бѣлаго цвѣта съ однимъ изъ Ньютоновскихъ, а чаще представляютъ смѣсь нѣсколькихъ основныхъ.

Тѣмъ не менѣе первый путь въ дѣлѣ систематизаціи явленій повидимому проще, и потому мы остановимся нѣсколько на вытекшемъ изъ него геометрическомъ построеніи всей системы цвѣтныхъ ощущеній.

Всякій знаетъ конечно, что по мѣрѣ увеличенія примѣси бѣлыхъ лучей къ какому угодно цвѣтному тону, послѣдній, становясь блѣднѣе и блѣднѣе, больше и больше приближается къ бѣлому цвѣту. Съ другой стороны понятно, что качественное различіе цвѣтныхъ тоновъ ощущается глазомъ тѣмъ рѣзче, чѣмъ они насыщеннѣе, и наоборотъ; стало быть, по мѣрѣ разжиженія густыхъ тоновъ бѣлымъ свѣтомъ, число оттѣнковъ, различаемыхъ глазомъ, становится меньше и меньше. Оба обстоятельства, взятыя вмѣстѣ, указываютъ на то, что систему цвѣтныхъ ощущеній, взятую въ зависимости отъ длины волнъ основныхъ цвѣтовъ и отъ насыщенности ихъ, всего удобнѣе было бы расположить въ плоскости круга, котораго центръ занималъ бы бѣлый цвѣтъ,—по окружности были расположены основные тоны Ньютона, а по направленію радіусовъ различныя степени разжиженія спектральныхъ цвѣтовъ бѣлымъ свѣтомъ. Такому расположенію мѣшаетъ только одно обстоятельство: Ньютоновскіе цвѣта могутъ быть расположены другъ подлѣ друга только въ силу реально существующей постепенности переходовъ ихъ изъ одного въ другой, стало быть, располагая цвѣта по окружности, фіолетовый конецъ спектра нельзя безъ натяжки помѣстить рядомъ съ краснымъ. Это затруд-

ненiе обойдено тѣмъ, что между концами спектра помѣщенъ, какъ это показываетъ рис. 50, переходный пурпуровый тонъ,

Рис. 50.



происходящiй отъ смѣшенiя фiолетоваго съ краснымъ. Черезъ это получается возможность сказаннаго построенiя системы ощущенiй въ зависимости отъ двухъ перемѣнныхъ.

Но выше было сказано, что характеръ цвѣтнаго ощущенiя, и именно та сторона его, которую обозначаютъ словомъ яркость, зависитъ еще отъ 3-ей перемѣнной—количества цвѣтныхъ лучей; слѣдовательно вся система ощущенiй можетъ быть изображена только геометрическою фигурою о 3-хъ измѣренiяхъ. Форма этой фигуры вытекаетъ изъ слѣдующаго. Тѣла внѣшняго мiра, вовсе не отражающiя падающаго на нихъ свѣта, мы называемъ черными; а тѣ, которыя отражаютъ его мало,—темными. При отраженiи въ незначительномъ количествѣ исключительно бѣлыхъ лучей, цвѣтъ предметовъ называется сѣрымъ; — при отраженiи исключительно красныхъ, зеленыхъ или голубыхъ лучей — темнокраснымъ, темнозеленымъ, темноголубымъ; наконецъ при отраженiи смѣси бѣлыхъ лучей съ простыми — сѣро-краснымъ, сѣро-желтымъ и пр. Отсюда очевидно слѣдуетъ, что весь рядъ темныхъ и

сѣрыхъ оттѣнковъ можетъ быть полученъ черезъ смѣшеніе системы цвѣтовъ, изображенныхъ на рис. 50 въ плоскости круга, съ различными количествами темнаго пигмента. При этомъ повторится тоже, что было съ разжиженіемъ насыщенныхъ лучей бѣлымъ свѣтомъ: число темныхъ оттѣнковъ, даваемыхъ насыщенными и разжиженными тонами, будетъ, по мѣрѣ увеличенія примѣси чернаго пигмента, уменьшаться болѣе и болѣе, пока наконецъ всѣ оттѣнки не сойдутся въ одну общую всѣмъ черную точку. Этимъ условіямъ очевидно будетъ удовлетворять система кружковъ, съ постоянно уменьшающимся діаметромъ противъ основнаго (того самаго кружка, который изображенъ на рис. 50), съ постепеннымъ наростаніемъ примѣси чернаго пигмента и уменьшеніемъ числа различимыхъ глазомъ темныхъ оттѣнковъ. Если такіе кружки наложить другъ на друга, то получится фигура конуса, которая и изобразитъ всю сумму цвѣтныхъ ощущеній въ зависимости отъ всѣхъ 3-хъ перемѣнныхъ. На рис. 51 изображена верхушка

Рис. 51.



конуса и распредѣленіе насыщенныхъ цвѣтовъ по окружностямъ основанія и средняго поперечнаго разрѣза.

Первая цѣль наша такимъ образомъ достигнута: всѣ цвѣтныя ощущенія, на которыя только способенъ глазъ чело-

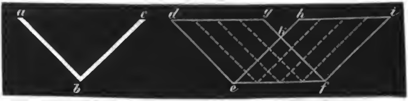
вѣка, приведены въ систему и сведены въ сущности на возбужденіе зрительнаго аппарата семью основными цвѣтами Ньютона.— Съ рѣшенія милліоновъ частныхъ случаевъ вопросъ сведенъ на рѣшеніе только семи! Шагъ конечно огромный; но мы вскорѣ увидимъ, что въ явленіяхъ смѣшенія простыхъ лучей солнечнаго спектра лежатъ условія къ дальнѣйшему упрощенію нашей задачи; притомъ читатель помнитъ, что часто окрашеніе видимыхъ предметовъ производится смѣшеніемъ не какого нибудь одного спектральнаго цвѣта съ бѣлыми лучами, а смѣшеніемъ нѣсколькихъ простыхъ лучей. Поэтому, не останавливаясь на достигнутыхъ результатахъ долѣе, приступимъ къ изученію явленій смѣшенія простыхъ цвѣтовъ.

Смѣшеніе простыхъ цвѣтовъ.

§ 42. Опытное изученіе относящихся сюда явленій показало, что смѣшеніемъ спектральныхъ цвѣтовъ по два исчерпывается вся сумма возможныхъ сложныхъ цвѣтныхъ ощущеній [читатель вскорѣ самъ убѣдится въ справедливости этого]; черезъ это сверхъ упрощенія нашей задачи, значительно упрощаются самые способы изслѣдованія, такъ какъ приборы могутъ быть расчитаны на смѣшеніе только двухъ цвѣтовъ. Способы смѣшенія простыхъ цвѣтовъ.

Смѣшивать между собою спектральные цвѣта по 2 можно

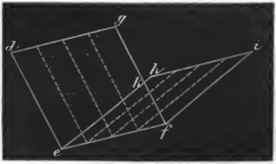
Рис. 52.



очень легко слѣдующимъ образомъ. Въ темную комнату пускаютъ свѣтъ черезъ v — образную щель *abc* (рис. 52) и

смотрятъ на нее черезъ призму, поставленную передъ глазомъ такимъ образомъ, чтобы преломляющее ребро было отвѣсно. Тогда въ пространствѣ *ekf*, общемъ обоимъ спектрамъ, смѣшиваются между собою по два всѣ составляющіе ихъ цвѣтные тоны; такъ что одного такого опыта, собственно говоря, достаточно для полученія всѣхъ главнѣйшихъ результатовъ смѣшенія простыхъ лучей. Если хотятъ смѣшивать цвѣта въ различной пропорціи, то одну щель дѣлаютъ уже другой, или, при одинаковой ширинѣ ихъ, наклоняютъ призму въ ту или другую сторону; тогда спектры принимаютъ форму, представленную на рис. 53. Оба они получаютъ при этомъ усло-

Рис. 53.



віи одинаковое количество свѣта, а между тѣмъ площадь спектра *hefi* меньше, слѣдовательно каждая точка его освѣщена сильнѣе соотвѣтствующихъ точекъ спектра *defg*.

Недостатокъ этого способа заключается въ томъ, что смѣшанные цвѣта занимаютъ мало мѣста и лежатъ рядомъ съ насыщенными спектральными цвѣтами; оба обстоятельства, значительно затрудняютъ вѣрную оцѣнку смѣшаннаго цвѣта.

Лучшій и наиболѣе раціональный способъ смѣшенія спектральныхъ лучей по 2, употребленный Гельмгольтцомъ (рис. 54), заключается въ томъ, что изъ объективнаго образа призматическаго спектра, рисуемаго ахроматической чечеви-

цей на ширмѣ S, выдѣляютъ посредствомъ подвижныхъ щелей въ этой ширмѣ (могущихъ перемѣщаться, съуживаться

Рис. 54.



и расширяться) два цвѣта, которые желаютъ смѣшать, и производятъ смѣшеніе посредствомъ другой ахроматической чечевицы *L'* (въ рисункѣ ходъ каждаго изъ смѣшиваемыхъ лучей обозначенъ пунктированными и черточными линіями).

Законы смѣшенія цвѣтовъ можно вывести также путемъ слѣдующихъ простыхъ опытовъ. Если *bd* (рис. 55)

Рис. 55.



есть черная горизонтальная плоскость; *a* стеклянная пластинка, удаленная отъ нея напр. на футъ, и *O* глазъ наблюдателя, смотрящій черезъ *a* на *b*; то въ него, т. е. въ глазъ, будутъ идти лучи не только отъ точки *b*, но и отъ *c* —послѣдніе путемъ отраженія отъ *a*, а первые, проходя черезъ пластинку въ направленіи *ba*. Если, слѣдовательно, въ точки *b* и *c* по-

ставить два различно окрашенныхъ предмета, напр. двѣ различно окрашенныя бумажки, то въ глазу наблюдателя будутъ смѣшиваться между собою лучи изъ обоихъ предметовъ. Наклоняя пластинку *a* относительно плоскости *bdc* въ ту или другую сторону, можно то увеличивать, то уменьшать количество лучей, идущихъ въ глазъ отъ *b*; вмѣстѣ съ этимъ то уменьшается, то увеличивается количество ихъ изъ *c*. Черезъ это является возможность смѣшивать цвѣта въ различныхъ пропорціяхъ.

Простѣйшимъ способомъ для количественныхъ опредѣленій смѣшенія двухъ и болѣе цвѣтовъ между собою все-таки остается однако вертящійся кружокъ. Способъ этотъ основанъ на законѣ слѣдовъ, остающихся въ глазу отъ каждаго свѣтоваго вліянія. Послѣдній вопросъ будетъ разсмотрѣнъ нами ниже; теперь же пока примемъ его на вѣру. Дѣло вотъ въ чемъ: если на глазъ дѣйствуютъ два или нѣсколько свѣтовыхъ впечатлѣній такъ быстро другъ за другомъ, что слѣдъ отъ перваго изъ нихъ не успѣваетъ еще пропасть, когда на сѣтчатку уже дѣйствуютъ остальныя, то всѣ отдѣльныя ощущенія сливаются въ одно общее; и это повторяется до безконечности, если смѣна мимолетныхъ вліяній повторяется, какъ это бываетъ съ вертящимся кружкомъ, періодически. Единственнымъ условіемъ для слiянія отдѣльныхъ ощущеній есть лишь извѣстная продолжительность промежутка между ними и опредѣленная продолжительность каждаго вліянія въ отдѣльности; послѣдняя величина не должна быть меньше $^1|_{30}$ секунды. Такимъ образомъ, если вертѣть передъ глазами кружокъ наполовину зеленый и наполовину красный со скоростью около $^1|_{30}$ сек., то впечатлѣніе, получаемое наблюдателемъ, будетъ такое, какъ будто на его глазъ падали разомъ зеленые и красные лучи. Понятно далѣе, что величиною окрашенныхъ секторовъ на кружкѣ опредѣляется пропорція смѣшиваемыхъ цвѣтовъ. Въ приведенномъ примѣрѣ она была напр. 1 : 1; еслибы

красный цвѣтъ занималъ $^1/_4$ круга, то пропорція была бы: 1 : 4 и т. д. *).

§ 43. Результатъ смѣшенія простыхъ цвѣтовъ по вышеописаннымъ способамъ можетъ быть формулированъ слѣдующимъ образомъ: Законы смѣшенія цвѣтовъ.

Смѣшеніе простыхъ лучей по два даетъ ощущенія: бѣлаго цвѣта, пурпуроваго, и переходовъ изъ того и другаго во всѣ спектральные цвѣта.

Этотъ законъ обнимаетъ слѣдующія 3 группы явленій.

1) Бѣлый цвѣтъ получается отъ смѣшенія:

красного съ зелено-голубымъ
оранжеваго „ голубымъ
желтаго „ синимъ
желто-зеленаго „ фіолетовымъ.

*) Бывали случаи, что законы смѣшенія цвѣтовъ выводились изъ смѣшенія красокъ въ формѣ сухихъ или взболтанныхъ съ водою порошковъ. При этомъ руководствовались мыслью, что если изъ двухъ цвѣтныхъ веществъ каждое отражаетъ лучи извѣстной преломляемости, то смѣсь должна отражать оба рода лучей вмѣстѣ. На этомъ основаніи выходило, что напр. желтые лучи (хромокислый свинецъ), смѣшиваясь съ синими (кобальтовая краска), даютъ ощущеніе зеленаго цвѣта. Способъ этотъ, равно какъ основанія его, однако невѣрны. Окрашеніе несамосвѣтящихся цвѣтныхъ предметовъ зависитъ, какъ извѣстно, преимущественно отъ лучей, отражающихся не съ самой поверхности тѣла, а изъ глуби ихъ: сложные бѣлые лучи, проникая въ глубь тѣла, теряютъ нѣкоторыя изъ своихъ составныхъ частей и возвращаются окрашенными. Въ нашемъ случаѣ напр. зернушки хромовой соли поглащаютъ изъ бѣлаго свѣта составныя части, соотвѣтсвующія красному, зеленоголубому, голубому и фіолетовому цвѣту, а отражаютъ въ значительномъ количествѣ желтые и оранжевые лучи и нѣкоторое количество зеленыхъ. Кобальтовыя зернушки отнимаютъ отъ бѣлаго свѣта красные, оранжевые и желтые лучи; отражаютъ много синихъ и меньше зеленыхъ и фіолетовыхъ. Свѣтъ, отражающійся отъ смѣси обоихъ веществъ, долженъ былъ очевидно пройти послѣдовательно зернушки кобальта и хромокислой окиси свинца, потерялъ въ однихъ красные и фіолетовые лучи, а въ другихъ, кромѣ того, желтые и оранжевые. Остаются, слѣдовательно, одни зеленые, могущіе до нѣкоторой степени пройти черезъ оба рода зеренъ. Изъ этого примѣра видно, что вообще смѣшеніе красокъ не ведетъ къ смѣшенію или сложенію разнородныхъ

Цвѣта каждой изъ этихъ паръ принято называть дополнительными другъ къ другу.

Такимъ образомъ оказывается, что изъ всѣхъ главныхъ цвѣтныхъ тоновъ спектра одинъ зеленый не имѣетъ дополнительнаго цвѣта между простыми лучами. Дополнительнымъ цвѣтомъ служитъ ему пурпуровый, происходящій отъ смѣшенія краснаго съ фіолетовымъ.

2) Отъ смѣшенія между собою простыхъ лучей, отстоящихъ ближе, чѣмъ дополнительные цвѣта, получаются промежуточные между ними цвѣтные тоны, приближающіеся тѣмъ болѣе къ бѣлому, чѣмъ болѣе удалены другъ отъ друга смѣшиваемые цвѣта. Наоборотъ, цвѣтъ смѣси тѣмъ насыщеннѣе, чѣмъ ближе другъ къ другу смѣшиваемые лучи. Напримѣръ, красный цвѣтъ, имѣющій дополнительнымъ зелено-голубой, будучи смѣшанъ съ зеленымъ, даетъ бѣловато-желтый тонъ; послѣдній, смотря по пропорціи смѣшиваемыхъ между собою цвѣтовъ, можетъ переходить съ одной стороны черезъ оранжевые тоны въ красные, а съ другой—черезъ желтозеленые въ зеленые.

3) Отъ смѣшенія между собою простыхъ лучей, отстоящихъ далѣе, чѣмъ дополнительные цвѣта, получаются пурпуровые тоны, или цвѣта, лежащіе въ промежуткѣ между однимъ изъ смѣшиваемыхъ тоновъ и ближайшимъ къ нему концемъ спектра. Здѣсь, цвѣтъ смѣси бываетъ тѣмъ насыщеннѣе, чѣмъ болѣе удалены другъ отъ друга смѣшиваемые тоны, и наоборотъ.

Въ приводимой ниже таблицѣ собраны всѣ результаты смѣшенія простыхъ лучей. Въ головѣ вертикальныхъ и гори-

---

лучей, но скорѣе къ вычитанію ихъ. Соотвѣтственно этому смѣсь двухъ красокъ бываетъ всегда темнѣе каждой краски въ отдѣльности. Такъ наприм. киноварь и ультрамаринъ даютъ почти черную смѣсь, потому что ни одинъ изъ лучей не можетъ пройти черезъ оба вещества разомъ съ относительно большой силой.

зонтальныхъ столбцовъ поставлены имена простыхъ цвѣтовъ а въ точкахъ ихъ встрѣчи — цвѣтъ смѣси.

	Фіолетов.	Синій	Голубой	Зел.-голуб	Зеленый	Желто-Зел.	Желтый
Красный	пурпуров.	темно-роз.	свѣтл.-роз.	бѣлый	свѣт.-желт.	золот.-жел.	оранжев
Оранжевый	темно-роз.	свѣтл.-роз.	бѣлый	свѣт.-желт.	желтый	желтый	
Желтый	свѣтл.-роз.	бѣлый	свѣтл.-зел.	свѣтл.-зел.	желт.-зел		
Желто-зел.	бѣлый	свѣтл.-зел.	свѣтл. зел.	зеленый			
Зеленый	свѣтл.-гол.	голубой	зелено-гол.				
Зел.-голуб.	голубой	голубой					
Голубой	темно-гол.						

Всматриваясь въ полученные результаты, нетрудно замѣтить, что вся вообще сумма цвѣтныхъ ощущеній, производимая въ глазу простыми лучами спектра и смѣшеніями ихъ по два, можетъ быть воспроизведена смѣшеніемъ трехъ спектральныхъ цвѣтовъ, лишь бы два изъ нихъ лежали около противуположныхъ концевъ спектра. Возьмемъ въ самомъ дѣлѣ для примѣра красные, зеленые и фіолетовые лучи.

Красный + фіолетовый = пурпуровому; пурпуровый + зеленый = бѣлому; слѣдовательно красный + фіолетовый + зеленый = бѣлому.

Далѣе, смѣшеніемъ краснаго съ зеленымъ въ различныхъ пропорціяхъ получаются всѣ промежуточные тоны, начиная съ оранжеваго и кончая желто-зеленымъ.

А отъ смѣшенія зеленаго цвѣта съ фіолетовымъ происходятъ зелено-голубые и синіе тоны.

Слѣдовательно вообще смѣшеніемъ красныхъ, зеленыхъ и фіолетовыхъ лучей по 2 могутъ быть воспроизведены всѣ цвѣтные тоны спектра (разумѣется приблизительно, потому что цвѣта смѣсей никогда не имѣютъ яркости и насыщенности спектральныхъ цвѣтовъ). Но выше мы видѣли, что изъ смѣшенія спектральныхъ цвѣтовъ между собою не происходитъ ни одного новаго цвѣтнаго тона, кромѣ пурпуроваго; слѣдовательно смѣшеніемъ избранныхъ нами трехъ цвѣтовъ дѣйствительно могутъ быть исчерпаны не только ощущенія, про-

изводимыя спектральными тонами въ отдѣльности, но и смѣсями ихъ по два.

Этимъ съ одной стороны объясняется, почему смѣшеніемъ спектральныхъ цвѣтовъ по 2 исчерпывается вся сумма возможныхъ цвѣтныхъ оттѣнковъ, а съ другой—дается возможность свести всю сумму цвѣтныхъ ощущеній человѣка, на три основныхъ ощущенія, соотвѣтственно избраннымъ основнымъ цвѣтамъ.

Такое сведеніе, предложенное уже Юнгомъ, и составляетъ крайній предѣлъ того упрощенія вопроса, къ которому мы стремились съ самаго начала ученія о цвѣтахъ. Шагъ сдѣланъ въ самомъ дѣлѣ огромный—отъ рѣшенія безконечнаго, или по крайней мѣрѣ неопредѣленно большаго, числа частныхъ случаевъ мы приведены къ опредѣленію условій происхожденія трехъ основныхъ ощущеній.

Не нужно думать однако, что такъ называемые простые цвѣта спектра дѣйствительно происходятъ изъ смѣшенія избранныхъ основныхъ цвѣтовъ — противъ этого ясно говоритъ невозможность фактическаго воспроизведенія первыхъ во всей ихъ яркости и насыщенности путемъ смѣшенія послѣднихъ; — гипотеза Юнга представляетъ не болѣе какъ логическую попытку рѣшить совершенно неизвѣстную намъ функцію (т. е. всю систему цвѣтныхъ ощущеній) въ зависимости отъ наименьшаго числа перемѣнныхъ. Она не разъясняетъ намъ истинныхъ условій въ зрительномъ аппаратѣ для воспринятія лучей различной преломляемости; но за абсолютнымъ недостаткомъ данныхъ для рѣшенія вопроса въ этомъ смыслѣ *), приводитъ по крайней мѣрѣ въ стройное

*) Грайлихъ пытался вывести явленія смѣшенія цвѣтовъ прямо изъ теоріи волненія; но попытка его оказалась не удачной. При успѣхѣ этой попытки физіологіи пришлось бы допустить, что конецъ всякаго зрительнаго нервнаго волокна возбуждается различно не только простыми лучами различной преломляемости, но и сложными волнами эфира, вытекающими изъ сочетанія простыхъ цвѣтовъ.

цѣлое всю систему цвѣтныхъ ощущеній. Коротко, гипотезу Юнга въ нашемъ случаѣ можно сравнить по значенію напр. съ искуственной системой классификаціи Линнея въ ботаникѣ: за отсутствіемъ естественной и она достигала цѣли.

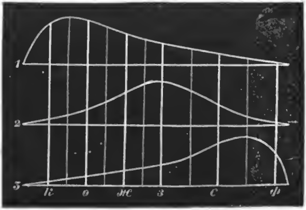
Въ этомъ смыслѣ Гельмгольтцъ принялъ гипотезу Юнга и развилъ ее въ слѣдующія 3 положенія:

1) Въ глазу существуетъ три рода нервныхъ волоконъ. Раздраженіе первыхъ даетъ ощущеніе краснаго цвѣта, вторыхъ — зеленаго и третьихъ — фіолетоваго.

2) Простые лучи свѣта, соотвѣтственно различію въ длинѣ волнъ, возбуждаютъ эти волокна съ различной силой. Тѣ изъ послѣднихъ, которыя даютъ ощущеніе краснаго, возбуждаются всего сильнѣе лучами съ наибольшей длиной волнъ; волокна, дающія ощущеніе зеленаго цвѣта, — всего сильнѣе лучами средней преломляемости и пр.

3) Вообще же каждый спектральный цвѣтъ возбуждаетъ всѣ 3 рода волоконъ, но въ чрезвычайно различной степени, смотря по большей или меньшей близости даннаго цвѣта къ основнымъ.

Рис. 56.



Послѣднее отношеніе выражено графически на рис. 56. На горизонтальную линію КФ нанесены 6 главныхъ тоновъ

спектра съ подразумѣваемыми промежуточными оттѣнками. Длины соотнѣтстнующихъ ординатъ (т. е. перпендикуляровъ изъ одной и той же точки линіи *КФ*) въ криныхъ №№ 1, 2 и 3 изображаютъ силу нозбужденія 3-хъ нидонъ волоконъ лучами данной преломляемости. Криная № 1 показываетъ возбуждаемость лучами спектра волоконъ, дающихъ красный цвѣтъ, № 2 — возбуждаемость волоконъ, дающихъ ощущеніе зеленаго, № 3—нозбуждаемость фіолетовыхъ.

Чисто красные лучи нозбуждаютъ сильно красныя волокна (да изнинятъ мнѣ эту вольность слога ради краткости), слабо оба другіе вида — ощущеніе красное.

Чисто желтые лучи нозбуждаютъ умѣренно сильно красныя и зеленыя нолокна, слабо фіолетоныя — ощущеніе желтое.

Чисто зеленые лучи нозбуждаютъ сильно зеленыя нолокна, слабо остальныя — ощущеніе зеленое.

Чисто синіе лучи возбуждаютъ умѣренно сильно зеленыя и фіолетовыя волокна, слабо красныя—ощущеніе синее.

Чисто фіолетовые лучи возбуждаютъ сильно фіолетоныя волокна, слабо остальныя — ощущеніе фіолетовое.

Цвѣтная слѣпота.

§ 44. Главнѣйшимъ основаніемъ для выбора краснаго, зеленаго и фіолетоваго цвѣта нъ основныя ощущенія служитъ то обстоятельство, что всѣ извѣстные до сихъ поръ случаи врожденной и искуственно-произведенной цнѣтной слѣпоты всего проще и естественнѣе могутъ быть объяснены или параличемъ нолоконъ, дающихъ красныя ощущенія, или параличами тѣхъ, которыя произнодятъ зеленыя и фіолетоныя ощущенія.

Для примѣра мы приведемъ объясненіе янленій красной (Дэльтонизмъ) и фіолетоной слѣпоты съ точки зрѣнія гипотезы Юнгъ-Гельмгольтца.

Люди, страдающіе сильно красною слѣпотою, отличаютъ нъ солнечномъ спектрѣ только 2 цвѣтныхъ тона, которые они называютъ обыкноненно желтымъ и синимъ; къ первымъ

относятся ими красныя, оранжевыя, желтыя и зеленыя части спектра; ко вторымъ — всѣ остальныя, за исключеніемъ зелено-голубыхъ тоновъ, которые они называютъ сѣрыми. Кромѣ того люди эти вовсе не видятъ слабо окрашеннаго конца красныхъ лучей, оттого спектръ кажется имъ короче, чѣмъ нормальнымъ глазамъ. Между цвѣтами внѣшнихъ предметовъ они смѣшиваютъ между собою (тѣмъ легче, чѣмъ менѣе ярки цвѣта) красные, бурые и зеленые тоны съ одной стороны, красно-розовые и голубые — съ другой.

Сумма этихъ явленій можетъ быть сведена на параличъ волоконъ, дающихъ красный цвѣтъ, конечно только подъ условіемъ, если всю сумму цвѣтныхъ ощущеній у людей съ разбираемымъ недостаткомъ можно вывести изъ дѣятельности остальныхъ двухъ родовъ волоконъ.

Конецъ красныхъ лучей не можетъ быть видимъ при нашемъ недостаткѣ на томъ основаніи, что этотъ отдѣлъ спектра слишкомъ слабъ свѣтомъ, чтобы возбуждать волокна, дающія зеленыя, и тѣмъ паче, фіолетовыя ощущенія. Яркая красная часть спектра *возбуждаетъ* у нихъ слабо одни зеленыя волокна и почти нисколько — фіолетовыя, слѣдовательно она должна давать ощущеніе *слабаго*, но *насыщеннаго* зеленаго цвѣта.

Желтая часть спектра должна казаться такимъ людямъ *яркою и насыщенною* зеленою полосою, потому что желтые лучи возбуждаютъ уже довольно сильно зеленыя волокна, но очень еще слабо фіолетовыя. На этомъ основаніи для глазъ съ описываемымъ недостаткомъ разница между желтыми и красными лучами спектра будетъ лишь количественная, и потому названіе цвѣтнаго тона они переносятъ съ *желтыхъ* лучей на красные.

Зеленые лучи будутъ вызывать ощущенія съ тѣмъ же основнымъ цвѣтнымъ характеромъ, какъ и предъидущіе, но менѣе насыщенныя, потому что къ зеленому ощущенію будетъ

примѣшиваться фіолетовое, а у людей съ красною слѣпотою смѣшеніе названныхъ двухъ тоновъ должно давать ощущеніе, соотвѣтствующее въ нормальныхъ глазахъ бѣлому цвѣту.

У нихъ это ощущеніе имѣетъ характеръ сѣраго цвѣта, и потому они называютъ зелено-голубые тоны спектра сѣрыми.

Остальныя части спектра хотя они и называютъ синими, но умѣютъ отличать до извѣстной степени фіолетовые тоны отъ голубыхъ.

Изъ этого объясненія явленій красной слѣпоты читатель видитъ одну изъ причинъ, побудившихъ Гельмгольтца прибавить къ гипотезѣ Юнга положеніе, что всякое изъ 3-хъ родовъ волоконъ возбуждается съ различною силою всѣми лучами спектра.

Фіолетовая слѣпота бываетъ, по изслѣдованіямъ Эдм. Розе и М. Шульце, врожденная и можетъ быть произведена искуственно, отравленіемъ сантоновой кислотой (составною частью цытварнаго сѣмени). Въ послѣднемъ случаѣ главными признаками бываетъ укороченіе солнечнаго спектра съ фіолетоваго конца почти до совершеннаго исчезанія синихъ тоновъ (на этомъ основаніи цвѣтъ темно-голубаго неба кажется наприм. такимъ людямъ темно-сѣрымъ) и окрашенность бѣлыхъ предметовъ въ желтый цвѣтъ. Первое явленіе не требуетъ объясненія, а второе вытекаетъ изъ совокупнаго возбужденія бѣлымъ цвѣтомъ волоконъ, дающихъ красныя и зеленыя ощущенія. Результатомъ очевидно должно быть ощущеніе съ желтыми характерами. Явленіе фіолетоваго видѣнія слабо освѣщенныхъ предметовъ, бывающее постоянно при отравленіи сантоновой кислотой, М. Шульце объясняетъ цвѣтными слѣдами (см. ниже), которые всегда окрашиваются въ дополнительный цвѣтъ къ данному объективному свѣту, и слѣдовательно должны быть въ нашемъ случаѣ фіолетовыми *).

*) По мнѣнію М. Шульце, желтое окрашеніе maculae luteae играетъ значительную роль въ явленіяхъ врожденной и искуственно произве-

Столько же просто объясняется съ точки зрѣнія гипотезы Юнгъ-Гельмгольтца фактъ измѣненія цвѣтнаго тона въ ощущеніи отъ простыхъ лучей спектра, съ усиленіемъ ихъ дѣйствія на сѣтчатку.

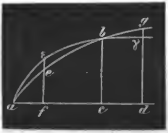
Извѣстно именно, что съ усиленіемъ дѣйствія на глазъ красныхъ лучей спектра, ощущеніе изъ краснаго переходитъ въ желтое; отъ зеленыхъ лучей — черезъ желтые тоны въ бѣлые; отъ голубыхъ непосредственно въ бѣлое; отъ фіолетовыхъ тоже въ бѣлое, но черезъ посредство голубыхъ тоновъ.

Эти странные факты объясняются, какъ сказано, очень легко съ точки зрѣнія развитой нами гипотезы, но для этого нужно еще принять въ соображеніе фактически доказанную непараллельность въ наростаніи и ослабленіи силы ощущенія съ усиленіемъ и ослабленіемъ освѣщенія для различныхъ цвѣтовъ спектра. Въ этомъ убѣждаютъ уже простые опыты разсматриванія различно окрашенныхъ поверхностей, при разныхъ степеняхъ освѣщенія: если наприм. голубая и красная бумажка кажутся днемъ одинаково яркими, то въ сумерки первая будетъ казаться ярче второй, а къ ночи красная по-

денной фіолетовой слѣпоты. Убѣдившись прямымъ опытомъ, что лучи свѣта, проходящіе черезъ кобальтовое стекло (слѣдовательно синіе лучи и нѣсколько красныхъ), поглащаются пигментомъ желтаго пятна, онъ думаетъ, что усиленное противъ нормы окрашеніе послѣдняго, можетъ объяснить всѣ явленія фіолетовой слѣпоты; а съ другой стороны, онъ допускаетъ возможность и противуположнаго измѣненія названнаго мѣста сѣтчатки. Слабымъ окрашеніемъ желтаго пятна онъ объясняетъ наприм. способность нѣкоторыхъ людей видѣть ультра-фіолетовые лучи безъ помощи всякихъ искуственныхъ средствъ. Дальнѣйшее подтвержденіе своей мысли онъ видитъ въ наблюденіи Шельске, по которому части сѣтчатки, сосѣднія желтому пятну, даютъ отъ фіолетовыхъ лучей ощущеніе темносиняго цвѣта. Фактъ этотъ М. Шульце объясняетъ тѣмъ, что вблизи желтаго пятна чувствительность сѣтчатки къ цвѣтнымъ лучамъ сохраняется еще въ значительной степени, а между тѣмъ свѣту не приходится проходить здѣсь черезъ окрашенные слои, и потому фіолетовые лучи достигаютъ концовъ нерва, не ослабѣвая (остается однако недоказаннымъ, почему сильнѣйшему дѣйствію на нервъ фіолетовыхъ лучей долженъ соотвѣтствовать синій тонъ въ ощущеніи).

верхность станетъ для глазъ черною, тогда какъ голубой тонъ будетъ еще виденъ (этимъ объясняется способность глаза видѣть ночью синеву неба, равно какъ синева туманной дали и вообще голубоватый оттѣнокъ бѣлаго свѣта, проходящаго черезъ мутныя среды: — при послѣднемъ условіи бѣлый свѣтъ ослабляется и на глазъ начинаютъ дѣйствовать его элементы, уже не съ одинаковой силой какъ прежде, а сильнѣе тѣ, которые ближе къ фіолетовому концу). Наоборотъ съ усиленіемъ освѣщенія яркость ощущенія отъ красныхъ лучей будетъ наростать быстрѣе. Гельмгольтцъ убѣдился въ справедливости развиваемыхъ нами фактовъ при опытахъ смѣшенія призматическихъ цвѣтовъ по 2 (см. фиг. 54). Для этого въ сферу пространства, гдѣ смѣшиваются данные два цвѣта, онъ помѣщалъ темное тѣло (между L′ и S′) и сравнивалъ яркость обѣихъ окрашенныхъ тѣней его (такъ какъ смѣшиваемые лучи выходятъ въ его опытахъ изъ двухъ отдѣльныхъ точекъ въ пространствѣ, d и d′, то понятно, что темное тѣло должно давать двѣ тѣни и обѣ должны быть окрашены въ смѣшиваемые между собою цвѣта) при условіи, когда въ смѣси усиливалось количество тѣхъ или другихъ лучей (путемъ увеличенія щелей въ ширмѣ S). При этомъ онъ убѣдился, что непараллельность въ количественныхъ колебаніяхъ силы ощущенія выражена всего рѣзче между цвѣтами, лежащими около концовъ спектра, менѣе сильно между цвѣтами, лежащими около фіолетоваго конца, и всего слабѣе между тѣми, которые лежатъ около краснаго. Это отношеніе онъ выразилъ для желтаго и фіолетоваго цвѣта графически чертежемъ, представленнымъ на рис. 57, въ которомъ величины af, ac и ad по абсциссѣ обозначаютъ различныя степени

Рис. 57.



освѣщенія; ординаты — соотвѣтствующія имъ силы ощущенія для желтаго и фіолетоваго цвѣта; наконецъ кривыя *aebg* и *a'b'y* ходъ желтыхъ и фіолетовыхъ ощущеній. Изъ рисунка видно, что при слабыхъ (но равныхъ между собою) степеняхъ освѣщенія фіолетовыя ощущенія сильнѣе желтыхъ; а при сильныхъ наоборотъ; стало быть въ промежуткѣ между этими крайностями долженъ быть моментъ (на чертежѣ онъ соотвѣтствуетъ силѣ свѣта *ac*), когда ощущеніе отъ тѣхъ и другихъ лучей должно быть одинаково сильно.

Имѣя эти данныя, уже легко объяснить приведенные выше факты.

Фіолетовые лучи возбуждаютъ сильно фіолетовыя волокна, слабо зеленыя и почти нисколько красныя. Съ усиленіемъ ихъ дѣйствія хотя и наростаетъ эффектъ возбужденія первыхъ волоконъ, но это наростаніе идетъ медленнѣе, чѣмъ для зеленыхъ и красныхъ волоконъ. Оттого ощущеніе должно получить сначала характеръ, соотвѣтствующій смѣшенію фіолетовыхъ и зеленыхъ лучей, т. е. голубымъ тонамъ; а за тѣмъ, когда наростетъ быстрѣе всѣхъ усиливающееся возбужденіе красныхъ—ощущеніе должно сдѣлаться бѣлымъ.

Зеленые лучи возбуждаютъ сильно зеленыя волокна и умѣренно какъ красныя такъ и фіолетовыя. Съ усиленіемъ дѣйствія, возбужденіе наростаетъ всего скорѣе для красныхъ волоконъ, слѣдовательно ощущеніе будетъ соотвѣтствовать смѣси краснаго съ зеленымъ—желтому цвѣту; когда же наростетъ еще возбужденіе фіолетовыхъ волоконъ — ощущеніе очевидно должно сдѣлаться бѣлымъ.

При усиленіи красныхъ лучей можетъ замѣтно усиливаться, рядомъ съ раздраженіемъ красныхъ волоконъ, только возбужденіе зеленыхъ, оттого ощущеніе можетъ принять лишь желтый оттѣнокъ, но не переходитъ въ бѣлый.

Только что описаннымъ свойствомъ глаза объясняется общеизвѣстный фактъ измѣненія цвѣтовъ окрашенныхъ предметовъ

при значительныхъ колебаніяхъ освѣщенія въ ту или другую сторону. Изъ смѣшаннаго свѣта, при яркомъ освѣщеніи, всегда будутъ рѣзче выступать красные и желтые тоны, при слабомъ голубые и фіолетовые. Это есть единственный случай, гдѣ глазъ является какъ бы способнымъ разлагать сложное свѣтовое движеніе на составныя простыя, или по крайней мѣрѣ выдѣлять нѣкоторыя части изъ общей суммы ихъ. Съ другой стороны описанное свойство глаза ведетъ за собою шаткость представленія о цвѣтахъ такихъ предметовъ, окрашенность которыхъ мы привыкли считать постоянной, независимо отъ измѣненія силы освѣщенія. Свѣтъ солнца мы называемъ напр. бѣлымъ, а между тѣмъ въ полдень цвѣтной тонъ его имѣетъ положительно желтый оттѣнокъ, вечеромъ же голубой, Да и вообще понятіе о бѣломъ цвѣтѣ видимыхъ предметовъ крайне относительно: примѣсь желтыхъ, голубыхъ и пр. тоновъ къ бѣлымъ лучамъ мы узнаемъ только при сравненіи бѣлыхъ предметовъ между собою.

Дальнѣйшей опорой теоріи Юнгъ-Гельмгольтца можетъ служить то обстоятельство, что цвѣтныя ощущенія, вызываемыя каждымъ изъ спектральныхъ цвѣтовъ въ отдѣльности, не представляютъ maximum насыщенности. Это можно видѣть изъ слѣдующаго опыта: если дѣйствовать на глазъ до утомленія какими-нибудь лучами спектра и потомъ подвергнуть его дѣйствію дополнительныхъ лучей (перейти напр. отъ желтыхъ къ синимъ), то ощущеніе отъ послѣднихъ бываетъ вообще насыщеннѣе того, которое получается при непосредственномъ возбужденіи глаза этими лучами. Фактъ этотъ можно объяснить съ точки зрѣнія нашей теоріи слѣдующимъ образомъ: предполагая возбуждаемость каждаго изъ трехъ родовъ волоконъ всѣми цвѣтами спектра, она очевидно приводитъ къ заключенію, что къ ощущенію, производимому каждымъ спектральнымъ цвѣтомъ въ отдѣльности, не-

премѣнно долженъ примѣшиваться бѣлый цвѣтъ; примѣсь же эта должна ослаблять насыщенность основнаго цвѣта.

О возраженiяхъ возможныхъ противъ нашей теорiи говорить нечего, такъ какъ выше была уже указана точка зрѣнiя, съ которой слѣдуетъ смотрѣть на нее.

§ 45. Мѣстомъ сѣтчатой оболочки, наиболѣе чувствительнымъ къ цвѣтнымъ лучамъ, оказывается желтое пятно съ его центральнымъ углубленiемъ; слѣдовательно элементами сѣтчатки, воспринимающими цвѣтные лучи, должны быть по преимуществу колбочки. Распредѣленiе чувствительности къ цвѣтнымъ лучамъ по сѣтчаткѣ.

Первая половина этого положенiя, изъ котораго вторая вытекаетъ какъ логическое послѣдствiе, доказывается слѣдующими опытами Обера. Онъ опредѣлялъ, при всѣхъ прочихъ равныхъ условiяхъ, наименьшiя величины окрашенныхъ поверхностей, дающiя цвѣтныя ощущенiя, при разсматриванiи ихъ центральными и периферическими частями сѣтчатки, и нашелъ, что при послѣднемъ условiи поверхности должны быть вообще больше, чѣмъ при первомъ; кромѣ того онъ замѣтилъ, что съ удаленiемъ отъ центра retinae чувствительность къ цвѣтамъ постоянно уменьшается. Послѣднее требуетъ впрочемъ подтвержденiя, потому что позже опытовъ Обера Шельске нашелъ наприм. для своихъ глазъ признаки красной слѣпоты въ периферическихъ частяхъ сѣтчатки, тогда какъ ощущенiе зеленыхъ тоновъ было выражено тамъ еще очень ясно. Тоже замѣчено было Пуркинье и Гельмгольтцомъ *).

*) При разсматриванiи окрашенныхъ поверхностей желтымъ пятномъ, наименьшiя величины ихъ, способныя вызывать цвѣтное ощущенiе, бываютъ для различныхъ цвѣтовъ различны. Наприм., по опытамъ Виттиха, наименьшую величину между всѣми имѣетъ оранжевая поверхность на черномъ фонѣ. Соотвѣтствующая ей величина образа на сѣтчаткѣ, по его вычисленiямъ, = 0,0054 мм. Въ сферѣ послѣдняго пространства могутъ помѣститься три колбочки; поэтому онъ думаетъ, что единицами для воспринятiя цвѣтныхъ лучей должно принимать сочетанiя колбочекъ по 3.

Что касается до вопроса, возбуждаются ли цвѣтными лучами палочки, то онъ былъ затронутъ въ недавнее время М. Шульце. Этотъ изслѣдователь, убѣдившись съ одной стороны, что изъ сѣтчатки чисто ночныхъ животныхъ вполнѣ исчезаютъ колбочки, и полагая съ другой, что ночью число возможныхъ для глаза цвѣтныхъ ощущеній доведено вообще до minimum, считаетъ палочки неспособными воспринимать цвѣтные лучи. Съ этой точки зрѣнія дневныя птицы и пресмыкающіяся кажутся ему животными, одаренными чувствомъ цвѣтовъ по преимуществу, такъ какъ у нихъ палочный слой сѣтчатки состоитъ исключительно изъ колбочекъ.

Условія, опредѣляющія силу цвѣтныхъ ощущеній.

Условія, опредѣляющія силу цвѣтныхъ ощущеній, конечно должны быть въ общихъ чертахъ тѣ же самыя, какъ и соотвѣтствующіе моменты въ усиленіи свѣтовыхъ впечатлѣній вообще; т. е. величина окрашенной поверхности, продолжительность освѣщенія и контрасты. Вліяніе перваго условія доказывается вышеприведенными опытами Обера; второе—опытами Ф. Виттиха, который нашелъ, что способность глаза различать цвѣта окрашенныхъ маленькихъ поверхностей усиливается, если ему даны время и возможность всмотрѣться въ предметъ; другими словами, цвѣтная поверхность можетъ при этомъ условіи быть меньше, чѣмъ при бѣгломъ взглядѣ, и глазъ все-таки различаетъ ея цвѣтъ. Дальнѣйшіе опыты показали Виттиху, что сущность этого условія заключается не въ томъ, что глазъ, присматривающійся къ окрашенному предмету, имѣетъ возможность лучше аккомодироваться къ нему, потому что явленіе имѣетъ мѣсто и на глазу съ парализованной аккомодаціей (посредствомъ атропина). Съ другой стороны онъ нашелъ, что выгоды отъ присматриванья къ предмету уничтожаются, если глазъ смотритъ на него черезъ маленькое отверстіе. Поэтому онъ думаетъ, что моментомъ, усиливающимъ въ нашемъ случаѣ цвѣтную перцепцію, являются ма-

ленькія движенія глазнаго яблока, увеличивающія поверхность соприкосновенія сѣтчатки съ цвѣтными лучами.

О вліяніи на цвѣтныя ощущенія предшествующихъ и одновременныхъ возбужденій сѣтчатой оболочки цвѣтными лучами рѣчь будетъ впереди.

ЯВЛЕНІЯ, ПОСЛѢДОВАТЕЛЬНЫЯ ЗА ВОЗБУЖДЕНІЕМЪ ЗРИТЕЛЬНАГО АППАРАТА СВѢТОМЪ.

Имѣя въ виду чрезвычайную чувствительность глаза къ свѣту, можно думать уже a priori, что возбужденное состояніе его, даже при очень отрывистомъ раздраженіи, исчезаетъ не мгновенно вмѣстѣ съ послѣднимъ, а продолжается нѣкоторое время и по прекращеніи его. Далѣе слѣдуетъ ожидать, что остатокъ, или слѣдъ, возбужденнаго состоянія будетъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ сильнѣе и продолжительнѣе, чѣмъ сильнѣе и долѣе (послѣдній моментъ можетъ имѣть значеніе однако лишь въ очень узкихъ предѣлахъ, такъ какъ по упомянутымъ выше изслѣдованіямъ Брюке, сила свѣтоваго ощущенія достигаетъ возможнаго maximum уже черезъ 0,186 сек. отъ начала раздраженія — и это еще для случая несильнаго свѣтоваго возбужденія) дѣйствовалъ на глазъ раздражающій свѣтъ. Убѣдиться во всемъ этомъ чрезвычайно легко. Стоитъ напримѣръ взглянуть на очень ярко освѣщенный предметъ, хоть на зажженную свѣчку, и быстро закрыть глаза — въ темномъ полѣ зрѣнія будетъ рисоваться и послѣ этого свѣтлый образъ свѣчки, ослабѣвая мало по малу до полнаго исчезанія. Здѣсь свѣтовой слѣдъ бываетъ однако слабъ и требуетъ вниманія со стороны производящаго опытъ, чтобы быть замѣченнымъ; но если

вмѣсто свѣчки взглянуть на солнце, то въ темномъ полѣ зрѣнія закрытаго глаза будутъ рисоваться свѣтлые круги въ теченіи минутъ.

Чрезвычайная чувствительность зрительнаго аппарата къ свѣту наводитъ съ другой стороны на мысль о легкой утомляемости его подъ вліяніемъ сильнаго или продолжительнаго свѣтоваго раздраженія, — мысль тѣмъ болѣе вѣроятную, что явленія усталости, насколько они выражаются пониженіемъ раздражительности, обще всѣмъ вообще нервнымъ механизмамъ нашего тѣла. Опытъ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, оправдываетъ и это предположеніе. Поэтому въ область явленій, послѣдующихъ за возбужденіемъ зрительнаго аппарата свѣтомъ, должны войти два рода свѣтовыхъ слѣдовъ — одни, представляющіе чистое продолженіе предшествовавшаго реальнаго возбужденія, другіе — результаты утомленія зрительнаго аппарата свѣтомъ.

Оба эффекта очень часто слѣдуютъ непосредственно другъ за другомъ, такъ что ихъ можно было бы описывать вмѣстѣ; но ради ясности выгоднѣе разсматривать оба рода явленій отдѣльно.

Положительные свѣтовые слѣды.

§ 46. **Положительнымъ свѣтовымъ слѣдомъ** называется свѣтовое ощущеніе, остающееся въ глазу по прекращеніи раздраженія и цѣлостно сохраняющее всѣ свѣтовые характеры предшествовавшаго реальнаго зрительнаго акта. Въ этихъ слѣдахъ сохраняются, не только форма ощущаемаго предмета, но и всѣ мелкія подробности въ освѣщеніи и окрашеніи его частей: свѣтлыя мѣста остаются свѣтлыми, темныя—темными, красныя—красными и пр. При обыкновенныхъ условіяхъ слѣды бываютъ однако такъ слабы въ сравненіи съ реальными свѣтовыми впечатлѣніями, что нисколько не мѣшаютъ чистотѣ зрительныхъ ощущеній; поэтому наблюдать ихъ можно лишь при извѣстномъ навыкѣ отдавать себѣ отчетъ въ субъективныхъ ощущеніяхъ или при

искуственныхъ условіяхъ наблюденія. Самымъ главнымъ и наиболѣе дѣйствительнымъ изъ послѣднихъ есть возможно полное затемнѣніе поля зрѣнія передъ раздраженіемъ свѣтомъ и по прекращеніи его. Первое необходимо для того, чтобы успокоить глазъ отъ предшествовавшихъ свѣтовыхъ впечатлѣній; а второе — для устраненія тѣхъ, которыя могли бы дѣйствовать послѣ раздраженія свѣтомъ и мѣшать чистотѣ эффекта. На этомъ основаніи наблюденія всего лучше производить надъ горящей свѣчкой или лампой въ совершенно темной комнатѣ. Если же опытъ дѣлается въ освѣщенномъ пространствѣ, то нужно закрывать глаза вѣками и прикрывать ихъ еще руками, потому что черезъ вѣки проходитъ къ сѣтчаткѣ довольно много свѣта. Но при этомъ слѣдуетъ тщательно избѣгать давленія на глаза и потрясенія головы, потому что первое само по себѣ можетъ быть источникомъ субъективныхъ свѣтовыхъ ощущеній, а второе влечетъ за собою исчезаніе слѣда.

Второе условіе для яснаго видѣнія положительныхъ слѣдовъ есть неподвижность фиксаціи разсматриваемаго предмета, (все равно, фиксируется ли онъ однимъ глазомъ или обоими) иначе слѣдъ дѣлается конечно расплывшимся.

Третье и послѣднее условіе есть извѣстная продолжительность свѣтоваго вліянія.—По Гельмгольтцу положительные слѣды имѣютъ наибольшую яркость, если свѣтовое раздраженіе длится около $^1/_3$ секунды; за этимъ предѣломъ они становятся уже слабѣе, потому что въ явленіе начинаетъ вмѣшиваться усталость сѣтчатой оболочки.

Такимъ образомъ, опытъ для полученія положительныхъ свѣтовыхъ слѣдовъ пріобрѣтаетъ слѣдующую форму. Наблюдатель, закрывъ глаза вѣками и руками, остается въ этомъ положеніи до тѣхъ поръ, пока изъ поля зрѣнія не исчезнутъ слѣды предшествовавшихъ впечатлѣній; за тѣмъ, открывъ глаза, онъ неподвижно устремляетъ ихъ на свѣтя-

щійся предметъ, въ теченіи $1/3$ сек.; и послѣ того снова закрываетъ ихъ вѣками и руками. Опытъ можно производить, какъ однимъ, такъ и обоими глазами.

Если въ глазу слѣдъ образовался, то легко бываетъ замѣтить, что соотвѣтствующій ему образъ перемѣщается въ полѣ зрѣнія съ передвиженіями глаза, при томъ въ одинаковомъ направленіи съ послѣдними. Это легко объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что всѣ вообще свѣтовыя ощущенія, а слѣдовательно и слѣды ихъ, переносятся сознаніемъ наружу въ направленіи прямыхъ линій, соединяющихъ мѣсто возбужденія на сѣтчаткѣ съ узловою точкою глаза, или съ центромъ зрачка.

На сущности явленій положительныхъ слѣдовъ останавливаться намъ нечего, такъ какъ выше уже было сказано, что они представляютъ эффекты продолжающагося возбужденнаго состоянія зрительняго аппарата; но нельзя пройти молчаніемъ нѣкоторыхъ послѣдствій, вытекающихъ изъ свойства глаза удерживать возбужденное состояніе и по прекращеніи раздраженія, потому что нѣкоторые изъ относящихся сюда фактовъ имѣютъ важное научное приложеніе.

Между послѣдними стоитъ безспорно на первомъ мѣстѣ *фактъ сліянія отдѣльныхъ, быстро слѣдующихъ другъ за другомъ, свѣтовыхъ впечатлѣній въ непрерывное свѣтовое ощущеніе.* На этомъ свойствѣ глаза основанъ, какъ извѣстно, способъ смѣшенія цвѣтовъ посредствомъ вертящихся кружковъ и употребляемые въ новѣйшей физикѣ способы опредѣленія формы путей быстро двигающихся предметовъ.

Явленія на вертящемся кружкѣ.

Если на черномъ кружкѣ нарисовать бѣлое пятно и вертѣть кружокъ сильнѣе и сильнѣе, то наступаетъ наконецъ моментъ, когда глазъ вмѣсто вертящагося пятна будетъ видѣть равномѣрно окрашенное сѣрое кольцо. Послѣднее будетъ казаться свѣтлѣе, если вмѣсто одного бѣлаго пятна на-

рисовать на кружкѣ два, такъ, чтобы оба находились на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ оси вращенія; при трехъ пятнахъ сѣрое кольцо будетъ еще свѣтлѣе и т. д. Вообще, чѣмъ большую поверхность на окружности круга будутъ занимать бѣлыя пятна, сравнительно съ черными промежутками, тѣмъ бѣлѣе и бѣлѣе будетъ становиться сѣрое кольцо, не становясь однако никогда совершенно бѣлымъ. Изъ этого очевидно слѣдуетъ, что въ глазу суммируются впечатлѣнія какъ отъ бѣлыхъ пятенъ, такъ и отъ черныхъ промежутковъ между ними, такъ что сила свѣтоваго ощущенія представляетъ какъ бы среднюю величину между свѣтовымъ эффектомъ отъ суммы бѣлыхъ поверхностей и суммы черныхъ промежутковъ.

Убѣдиться въ справедливости этого можно очень простыми опытами. На приложенномъ рис. 58 площадь кружка раздѣ-

Рис. 58.



лена на 3 концентрическихъ слоя и въ каждомъ изъ нихъ отношеніе между суммою бѣлыхъ и черныхъ площадей одинаково (внутренній кружокъ окрашенъ на половину бѣлымъ; въ среднемъ поясѣ бѣлые сегменты занимаютъ $^2/_4$ всего пространства, а въ наружномъ поясѣ—$^4/_8$ пространства); поэтому на основаніи сказаннаго, кружокъ, при быстромъ верченіи, долженъ

казаться повсюду окрашеннымъ въ совершенно равномѣрный сѣрый цвѣтъ, и онъ въ самомъ дѣлѣ кажется такимъ.

Законъ суммированія впечатлѣній отъ бѣлыхъ поверхностей и черныхъ промежутковъ доказанъ Плато на вертящихся кружкахъ слѣдующимъ образомъ. Онъ удалялъ отъ одного и того же источника свѣта совершенно бѣлую поверхность и вертящійся кружокъ, съ бѣлыми и черными секторами, на такія разстоянія, чтобы обѣ поверхности казались глазу одинаково свѣтлыми, и нашелъ, что наприм. вертящійся кружокъ, съ отношеніямъ бѣлой поверхности къ черной какъ 1 : 4, долженъ быть поставленъ къ источнику свѣта вдвое ближе, чѣмъ бѣлая поверхность, чтобы казаться одинаково свѣтлымъ съ послѣднею. Другими словами, удаленіе бѣлой поверхности отъ источника свѣта на двойное разстояніе противъ кружка, ослабляющее силу освѣщенія вчетверо, равнозначуще суммированію свѣтовыхъ впечатлѣній отъ бѣлыхъ и черныхъ секторовъ кружка съ отношеніемъ какъ 1 : 4; въ кружкѣ—стало быть сила свѣтоваго ощущенія отъ бѣлыхъ секторовъ ослаблена вчетверо, противъ бѣлой поверхности.

Тоже самое доказано Дове для цвѣтныхъ лучей. Извѣстно, что кристаллическія пластинки двояко преломляющихъ веществъ, будучи помѣщены между двумя николями, представляютъ или цвѣтныя фигуры или равномѣрную окрашенность поля зрѣнія; и что съ каждымъ поворотомъ одной изъ призмъ на 90° каждая изъ окрашенныхъ точекъ принимаетъ дополнительный цвѣтъ. Стало быть, отъ быстраго вращенія одной изъ призмъ поле зрѣнія должно сдѣлаться бѣлымъ; это дѣйствительно получено Дове.

Послѣ сказаннаго становится уже безъ дальнѣйшихъ разсужденій понятнымъ примѣненіе вертящагося кружка къ смѣшенію цвѣтовъ, равно какъ главная выгода этаго способа, заключающаяся въ легкости опредѣленія количествъ

смѣшиваемыхъ между собою лучей изъ величинъ окрашенныхъ секторонъ.

Если кружокъ съ нарисованой на немъ фигурой привести въ быстрое вращательное движеніе въ темной комнатѣ и освѣтить его на одно мгновеніе, такъ чтобы въ періодъ освѣщенія онъ не могъ сдѣлать даже маленькой части одного полнаго оборота, то рисунокъ будетъ видѣться совершенно ясно. При освѣщеніи электрической искрой это и бываетъ, притомъ тогда кружокъ кажется неподвижнымъ, потому что быстрота вращенія безконечно мала въ сравненіи съ продолжительностью освѣщенія. Если кружокъ освѣщается не одною, а рядомъ электрическихъ искръ, и періоды появленія послѣднихъ равны времевамъ оборотовъ кружка, или относятся къ нимъ какъ цѣлыя числа, то и при этомъ условіи кружокъ съ рисункомъ будутъ казаться неподвижнымъ; иначе фигура на кружкѣ, оставаясь видимою, приходитъ въ движеніе въ ту или другую сторону.

Къ этой же категоріи случаевъ относятся свѣтовыя явленія при раздраженіи глаза перерывистымъ свѣтомъ и совмѣстномъ движеніи головы. Если смотрѣть напр. въ темной комнатѣ на то мѣсто приведеннаго въ дѣйствіе индукціоннаго аппарата, гдѣ происходитъ замыканіе и размыканіе первичной спирали, то образующіяся здѣсь съ перерывами искры разсыпаются, при движеніяхъ головы, въ рядъ свѣтлыхъ точекъ, лежащихъ въ направленіи движенія.

Вертящійся кружокъ даетъ средства опредѣлять сравнительную продолжительность свѣтовыхъ слѣдовъ отъ бѣлыхъ и цвѣтныхъ лучей изъ быстроты вращенія, при которой происходитъ полное сліяніе различно окрашенныхъ секторовъ. Для этого нужно только, чтобы была извѣстна въ каждомъ данномъ случаѣ быстрота вращенія и чтобы яркость сравниваемыхъ между собою цвѣтовъ была одинакова. Съ этой цѣлью поверхность кружка дѣлится на произвольное, но чет-

ное, число равныхъ секторовъ; половина ихъ окрашивается черезъ одинъ въ черный цвѣтъ, а другая въ тотъ, который изслѣдуется; и наконецъ опредѣляется быстрота вращенія, при которой происходитъ повсемѣстное полное сліяніе окрашенныхъ секторовъ. Такіе опыты показываютъ (Плато, Эмсманнъ, Гельмгольтцъ), что вообще, чѣмъ слабѣе освѣщеніе, тѣмъ при меньшей быстротѣ происходитъ сліяніе, и что слѣдовательно опредѣляемыя изъ этихъ опытовъ величины имѣютъ лишь относительное значеніе. Въ этомъ смыслѣ важно упомянуть слѣдующіе факты. Гельмгольтцъ дѣлалъ опыты съ кружкомъ, раздѣленнымъ въ перемежку на 12 бѣлыхъ и 12 черныхъ секторовъ, и нашелъ, что при сильнѣйшемъ ламповомъ свѣтѣ время прохожденія передъ глазами одного чернаго и сосѣдняго ему бѣлаго сектора, необходимое для сліянія обоихъ, было = $^1/_{24}$ сек. Поэтому онъ устанавливаетъ какъ правило, что вообще для повсемѣстнаго сліянія цвѣтовъ на вертящемся кружкѣ (какъ въ периферіи, такъ и около центра) ему слѣдуетъ сообщать скорость отъ 24—30 оборотовъ въ 1 секунду.

Цвѣтные отголоски.

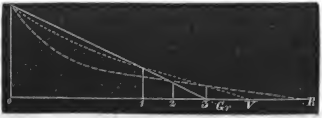
Для окрашенныхъ лучей Плато нашелъ разницы въ продолжительности слѣдовъ, при одной и той же степени освѣщенія (при разсѣянномъ дневномъ свѣтѣ). Къ сожалѣнію, въ опытахъ его не было обращено вниманія на яркость сравниваемыхъ между собою цвѣтовъ, которая очевидно должна имѣть вліяніе на быстроту сліянія; поэтому положительное значеніе можно придавать развѣ только высказанному выше общему выводу изъ этихъ опытовъ, но никакъ не подробностямъ.

Впрочемъ разница продолжительности свѣтовыхъ слѣдовъ отъ лучей различной преломляемости доказывается, независимо отъ упомянутыхъ опытовъ, явленіями такъ называемыхъ цвѣтныхъ отголосковъ, которыя заключаются въ быстрой смѣнѣ цвѣтныхъ ощущеній, слѣдующихъ за сильнымъ раз-

драженіемъ глаза бѣлымъ свѣтомъ (напр. цвѣтныя кольца въ глазу вслѣдъ за взглядомъ на солнце). По согласнымъ наблюденіямъ Фехнера и Гельмгольтца цвѣтные тоны въ свѣтовомъ слѣдѣ мѣняются въ слѣдующемъ порядкѣ: за бѣлымъ періодомъ слѣдуетъ зеленовато-голубой, синій, фіолетовый или розовый и сѣро-оранжевый. Если раздраженіе очень отрывисто, такъ что въ явленіе не замѣшивается утомленія сѣтчатки, то свѣтовой слѣдъ исчезаетъ съ послѣднимъ періодомъ, не претерпѣвая дальнѣйшихъ измѣненій, иначе онъ продолжается, но уже въ формѣ отрицательнаго слѣда (см. ниже).

Описанная послѣдовательность цвѣтныхъ отголосковъ объясняется съ точки зрѣнія гипотезы Юнгъ-Гельмгольтца (объ трехъ основныхъ цвѣтныхъ ощущеніяхъ) предположеніемъ, что ощущенія отъ красныхъ лучей ослабѣваютъ, по прекращеніи раздраженія смѣшаннымъ цвѣтомъ, сначала быстрѣе всѣхъ прочихъ, при концѣ наоборотъ медленнѣе; зеленыя же ощущенія—въ началѣ медленнѣе всѣхъ прочихъ, а при концѣ всѣхъ быстрѣе. Отношеніе это выражено графически на приложенномъ рис. 59, гдѣ вытянутая линія обозначаетъ

Рис. 59.



ходъ ослабѣванія зеленыхъ ощущеній по прекращеніи раздраженія, точечная линія — ходъ фіолетовыхъ ощущеній, а штрихованная—ходъ красныхъ. Величины на абсциссѣ соотвѣтствуютъ слѣдовательно различнымъ періодамъ слѣда во времени, а ординаты указываютъ соотвѣтствующія этимъ мо-

ментамъ силы всѣхъ трехъ ощущеній. Изъ рисунка непосредственно видно, что съ удаленіемъ отъ момента прекращенія раздраженія (отъ 0 на абсциссѣ), сила всѣхъ цвѣтныхъ ощущеній ослабѣваетъ постепенно, но неравномѣрно: въ періодъ отъ 0 до 1 преобладаютъ зеленыя + фіолетовыя ощущенія = зелено-голубымъ. Между 1 и 2 преобладаютъ переходные тоны отъ голубыхъ къ фіолетовымъ; наконецъ между 2 и 3 начинается переходъ отъ фіолетовыхъ ощущеній къ пурпуровымъ, который продолжается за 3 и переходитъ въ красный періодъ.

Явленія усталости въ сферѣ зрительнаго аппарата; отрицательные свѣтовые слѣды.

§ 47. Явленія усталости, насколько они выражаются пониженіемъ раздражительности, происходятъ въ сферѣ зрительнаго аппарата едва ли не легче, чѣмъ въ какомъ другомъ нервномъ механизмѣ нашего тѣла. Поэтому сфера относящихся сюда явленій чрезвычайно обширна и богата фактами.

Простѣйшая форма основнаго опыта, которою доказывается утомляемость сѣтчатки какъ бѣлыми, такъ и цвѣтными лучами, заключается въ слѣдующемъ. На листъ сѣрой бумаги кладется маленькій кружокъ или квадратъ (вообще кусочекъ любой формы) бѣлой, черной или цвѣтной бумаги и глазъ наблюдателя устремляется на послѣдній въ теченіи нѣкотораго времени, напр. минуты, совершенно неподвижно; затѣмъ быстрымъ движеніемъ пальца кусочекъ сбрасывается, но глазъ продолжаетъ смотрѣть въ прежнемъ направленіи. Въ случаѣ, если кружокъ былъ бѣлый, то мѣсто, прикрывавшееся имъ, представляется глазу темнѣе окружающихъ частей бумаги; при черномъ кружкѣ — наоборотъ свѣтлѣе, а при цвѣтномъ — мѣсто, бывшее прикрытымъ, всегда окрашивается въ дополнительный цвѣтъ къ цвѣту кружка. Первый эффектъ объясняется такъ: мѣсто сѣтчатки, на которомъ рисуется образъ бѣлаго кружка, болѣе другихъ частей утомляется свѣтомъ, оттого въ моментъ сбрасыванія кружка раз-

дражительность къ бѣлымъ лучамъ здѣсь понижена сильнѣе, чѣмъ въ другихъ точкахъ retinae, и мѣсто это должно очевидно возбуждаться свѣтомъ слабѣе прочихъ. Второй эффектъ объясняется такъ: всѣ точки сѣраго листа, за исключеніемъ тѣхъ, которыя прикрыты чернымъ кружкомъ, посылаютъ во все время опыта бѣлые лучи на периферическія части сѣтчатки и утомляютъ ихъ, т. е. понижаютъ раздражительность къ бѣлому свѣту; мѣсто же сѣтчатки, на которое приходится образъ чернаго кружка, защищено отъ свѣта все время, пока кружокъ лежитъ на листѣ; но лишь только онъ удаленъ, бѣлый свѣтъ падаетъ и на неутомленныя части сѣтчатки, оттого соотвѣтствующее мѣсто бумаги должно казаться бѣлѣе окружающихъ. Явленіе окрашенности слѣда въ дополнительный цвѣтъ объясняется въ сущности, какъ 1-й эффектъ: если кружокъ на бумагѣ имѣетъ напр. красный цвѣтъ, то мѣсто сѣтчатки, на которомъ лежитъ образъ кружка, утомляется исключительно краснымъ цвѣтомъ, т. е. въ немъ понижается возбудимость красными лучами; стало быть по удаленіи кружка, изъ бѣлаго свѣта, падающаго теперь на всю поверхность сѣтчатки, утомленное мѣсто послѣдней перципируетъ всѣ лучи, за исключеніемъ красныхъ, т. е. зеленые + фіолетовые = зеленоголубымъ.

Чрезвычайная утомляемость сѣтчатки, подъ вліяніемъ раздраженія, выражается, если можно, еще нагляднѣе въ слѣдующемъ опытѣ: въ темномъ полѣ зрѣнія закрытаго глаза вызываютъ механическимъ давленіемъ на глазное яблоко свѣтлыя кольца и затѣмъ смотрятъ, открывши глазъ, на равномѣрно освѣщенную поверхность;—теперь свѣтлыя мѣста фигуры кажутся наоборотъ темными—явное доказательство, что возбудимость свѣтомъ понизилась именно въ подвергшихся раздраженію частяхъ сѣтчатки.

Послѣдній опытъ, въ связи съ первыми двумя формами основнаго, важенъ еще въ томъ отношеніи, что онъ вводитъ

насъ въ условія, при которыхъ явленія усталости зрительнаго аппарата принимаютъ форму такъ называемыхъ отрицательныхъ свѣтовыхъ слѣдовъ.

Дѣло вотъ въ чемъ: когда въ закрытомъ глазѣ произошелъ отъ раздраженія свѣтящимся предметомъ положительный свѣтовой слѣдъ (напр. отъ свѣчки), въ формѣ свѣтлаго образа на темномъ фонѣ, то открываніе глаза въ сторону освѣщенной поверхности, или даже одно отниманіе руки отъ прикрытаго вѣками яблока, производитъ обыкновенно извращеніе явленія — свѣтлый образъ (свѣчки) на темномъ фонѣ превращается въ темный образъ (свѣчки) па свѣтломъ фонѣ. Въ этой-то послѣдней формѣ, при которой вообще свѣтлыя мѣста положительнаго слѣда превращаются въ темныя и наоборотъ, свѣтовой слѣдъ и назвается отрицательнымъ. Онъ относится стало быть къ положительному слѣду совершенно также, какъ у фотографовъ негативъ къ позитиву (отсюда и названіе положительнаго и отрицательнаго свѣтоваго слѣда). Опыты показываютъ однако, что такое извращеніе слѣдовъ происходитъ только при извѣстномъ отношеніи между силою первичнаго свѣтоваго вліянія, произведшаго положительный слѣдъ, и силою вторичнаго освѣщенія (или реагирующаго свѣта, какъ выражается Гельмгольцъ). Чѣмъ больше 1-я величина, тѣмъ больше вообще должна быть и вторая. Съ другой стороны понятно, что усиленіе реагирующаго свѣта усиливаетъ отрицательный слѣдъ (т. е. ощущеніе разницы въ степени освѣщенія между утомленнымъ мѣстомъ сѣтчатки и его окружностью) не безпредѣльно, потому что глазъ нашъ отличаетъ слабыя различія въ степени освѣщенія лучше при среднихъ чѣмъ при большихъ силахъ свѣта.

Переходъ свѣтовыхъ слѣдовъ изъ положительной фазы въ отрицательную можетъ впрочемъ происходить и въ затемненномъ полѣ зрѣнія, безъ всякаго посредства внѣшняго реагирующаго свѣта. Для этого нужно только, чтобы пер-

вичное свѣтовое вліяніе длилось не доли, а цѣлыя секунды, потому что вообще яркость и продолжительность отрицательныхъ слѣдовъ стоятъ въ прямомъ отношеніи къ силѣ и продолжительности первичнаго свѣтоваго вліянія. Такъ, если въ темной комнатѣ фиксировать въ теченіи 4—5 сек. горящую свѣчку и затемнить поле зрѣнія, то положительная фаза очень быстро переходитъ въ отрицательную, и послѣдняя длится цѣлыя минуты.

Для объясненія этихъ случаевъ происхожденія отрицательныхъ слѣдовъ, факторомъ, соотвѣтствующимъ внѣшнему реагирующему свѣту, принимаютъ внутренній или такъ назыв. собственный свѣтъ сѣтчатки (объ немъ рѣчь была уже выше). Послѣдній вызывается, какъ извѣстно слабымъ тоническимъ раздраженіемъ зрительнаго аппарата и даетъ равномѣрное освѣщеніе затемненнаго поля зрѣнія до тѣхъ поръ, пока всѣ мѣста сѣтчатки сохраняютъ одинаковую раздражительность; но лишь только послѣднее условіе нарушается, мѣста съ ослабленною раздражительностью должны казаться темнѣе прочихъ.

Читатель видитъ такимъ образомъ, что явленія отрицательныхъ и окрашенныхъ въ дополнительные цвѣта слѣдовъ дѣйствительно объясняются всего проще утомленіемъ зрительнаго аппарата, или пониженіемъ его раздражительности. Положительное доказательство этому объясненію заключается однако не въ легкости послѣдняго, а въ слѣдующемъ опытномъ фактѣ (Гельмгольтцъ): если въ періодъ перехода свѣтоваго слѣда изъ положительной фазы въ отрицательную подѣйствовать на зрительный аппаратъ постояннымъ (гальваническимъ) токомъ въ восходящемъ направленіи, то переходъ этотъ совершается тотчасъ же; при нисходящемъ же токѣ слѣдъ остается положительнымъ.

Такова сумма основныхъ фактовъ, составляющихъ ученіе о свѣтовыхъ слѣдахъ, или о явленіяхъ послѣдовательныхъ

за раздраженіемъ глаза свѣтомъ. Они резюмируются въ слѣдующее положеніе:
вслѣдъ за прекращеніемъ свѣтоваго вліянія возбужденное состояніе зрительнаго аппарата хотя и продолжается, но воспріимчивость его къ новымъ раздраженіямъ бываетъ тогда понижена.

Изъ частныхъ фактовъ, относящихся къ явленіямъ утомленія сѣтчатки, особеннаго вниманія заслуживаютъ слѣдующіе два: случаи видѣнія спектральныхъ цвѣтовъ, какъ бы съ примѣсью сѣраго, и наоборотъ возможность видѣть ихъ болѣе насыщенными, чѣмъ при нормальныхъ условіяхъ. Первое получается въ случаѣ, если послѣ долгаго утомленія одной части сѣтчатки тѣмъ или другимъ спектральнымъ цвѣтомъ, подѣйствовать имъ и на неутомленныя части: тогда послѣднія даютъ очень яркое цвѣтное ощущеніе, а утомленныя части —сѣроватое. Усиленная же противъ нормы насыщенность спектральныхъ цвѣтовъ получается при условіи утомленія сѣтчатки лучами, имѣющими дополнительный цвѣтъ къ данному.

Эффекты 1-го рода можно получить уже разсматриваніемъ бумажекъ, окрашенныхъ въ спектральные цвѣта, когда часть ихъ прикрыта кускомъ черной бумаги, и послѣдняя быстро удалена. Но здѣсь дѣло объясняется тѣмъ, что окрашенныя бумажки обыкновенно отражаютъ въ глазъ наблюдателя, рядомъ съ лучами, соотвѣтствующими ихъ цвѣтному тону, еще и бѣлые лучи; стало быть глазъ, долго разсматривающій такое цвѣтное поле, хотя утомляется всего больше господстеующими цвѣтными лучами, но въ меньшей степени и бѣлымъ свѣтомъ; слѣдовательно по наступленіи утомленія онъ долженъ ощущать слабѣе какъ тѣ, такъ и другіе;—но ослабленіе раздражительности къ бѣлымъ лучамъ даетъ ощущеніе сѣраго; слѣдовательно послѣдній оттѣнокъ долженъ примѣшиваться и къ ощущенію господствующаго тона. Наше же явленіе и интересно именно тѣмъ, что оно насту-

паетъ при утомленіи глаза дѣйствительно простыми лучами, безъ всякой примѣси бѣлаго свѣта. Такъ, если держать передъ глазами красное стекло, окрашенное закисью мѣди, которое пропускало бы только красные лучи; покрыть голову до краевъ этого стекла темнымъ покрываломъ; смотрѣть черезъ стекло на бѣлое поле съ лежащимъ на срединѣ его кружкомъ черной бумаги; и послѣ долгаго разсматриванія удалить послѣдній;—то и при этомъ условіи красный фонъ будетъ казаться сѣроватымъ. Здѣсь предъидущее объясненіе неприложимо, потому что глазъ утомляется одними красными лучами; стало быть на помощь нужно призвать или внутреннія раздраженія (обусловливающія собственный бѣлый свѣтъ сѣтчатки), которыя, дѣйствуя на части сѣтчатки, утомленныя красными лучами, вызываютъ ощущеніе дополнительнаго (зелено-голубаго) цвѣта, а послѣднее, суммируясь съ цвѣтомъ фона, придаетъ ему бѣловатый оттѣнокъ. Или же для объясненія нужно призвать гипотезу Юнгъ-Гельмгольтца, по которой всякій спектральный цвѣтъ (въ нашемъ случаѣ красный) долженъ утомлять не въ одинаковой степени всѣ три рода нервныхъ волоконъ (въ нашемъ случаѣ всего сильнѣе красныя) и черезъ это усиливать при продолжительномъ дѣйствіи эффекты возбужденія тѣхъ, которыя утомились меньше (въ нашемъ случаѣ зелено-голубые лучи).

Что касается до возможности видѣть простые лучи болѣе насыщенными, чѣмъ при нормальныхъ условіяхъ, то фактъ этотъ былъ доказанъ Гельмгольтцомъ для чистыхъ спектральныхъ цвѣтовъ. Онъ тоже объясняется очень легко съ точки зрѣнія гипотезы Юнгъ-Гельмгольтца, потому что по этой теоріи смѣси трехъ основныхъ цвѣтовъ по два всегда даютъ дополнительные цвѣта къ стоящему внѣ смѣси; слѣдовательно утомленіе глаза первыми (т. е. дополнительными къ данному) всегда должно усиливать противу нормальнаго объективное возбужденіе послѣднимъ.

Послѣдовательные контрасты.

§ 48. Послѣдствіями измѣненія раздражительности сѣтчатки объясняется наконецъ большая часть явленій такъ называемаго **послѣдовательнаго контраста**, т. е. тѣ измѣненія въ силѣ, яркости и цвѣтномъ характерѣ всякаго даннаго ощущенія, которыя обусловливаются возбужденіемъ глаза, предшествовавшимъ данному раздраженію. Сюда относится напримѣръ ослѣпительное дѣйствіе разсѣяннаго дневнаго свѣта, если глазъ долго находился въ темнотѣ; окрашеніе бѣлыхъ предметовъ въ зеленый цвѣтъ, если на глазъ дѣйствовали долго красные лучи и пр. Такіе и подобные имъ факты нетребуютъ уже разъясненія. Но иногда явленія послѣдовательнаго контраста имѣютъ такую форму, что не могутъ быть повидимому объяснены съ только что развитой точки зрѣнія. Такъ, если пристально разсматривать цвѣтную облатку на сѣромъ фонѣ, или наоборотъ сѣрую на цвѣтномъ, то края сѣрой поверхности вскорѣ окрашиваются въ дополнительный цвѣтъ къ сосѣднему.—Здѣсь субъективное цвѣтное ощущеніе является повидимому безъ утомленія сѣтчатки цвѣтными лучами; однако во многихъ случаяхъ можно съ положительностью доказать вмѣшательство этаго момента, такъ какъ глаза наши производятъ невольныя движенія даже при пристальномъ фиксированіи предмета, слѣдовательно части сѣтчатки, утомившіяся цвѣтными лучами, подвергаются при этихъ движеніяхъ дѣйствію бѣлыхъ лучей отъ сѣрой поверхности. Вообще, на сколько въ эффекты описываемаго рода замѣшаны движенія глазъ, на столько они объясняются послѣдствіями утомленія сѣтчатки; но при этомъ дѣйствуютъ еще условія такъ называемаго одновременнаго контраста, объ которыхъ рѣчь будетъ ниже.

Энтоптическое видѣніе желтаго пятна.

§ 49. Въ заключеніе этого отдѣла я упомяну еще о нѣкоторыхъ субъективныхъ свѣтовыхъ явленіяхъ, которыя частью еще вовсе не объяснены, частью же не могли быть разобраны ни въ одномъ изъ предъидущихъ параграфовъ.

Желтое пятно сѣтчатой оболочки можетъ быть при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ видимо въ полѣ зрѣнія. Всего легче и вѣрнѣе происходитъ это при перерывистомъ освѣщеніи. Переходы отъ темноты къ свѣту должны быть столь быстры, чтобы сознаніе не могло слѣдить за ними съ точностью, однако же не настолько часты, чтобы освѣщеніе казалось совершенно равномѣрнымъ. — Нужно, чтобы получалось впечатлѣніе мерцанія. Достаточно на прим. быстро водить передъ глазами рукой съ растопыренными пальцами и смотрѣть въ это время на небо или другой свѣтлый фонъ. При этомъ въ мерцающемъ полѣ зрѣнія соотвѣтственно желтому пятну замѣчается рисунокъ въ видѣ сѣтки или пчелинаго сота. Онъ очерченъ не рѣзко и большею частью въ горизонтальномъ направленіи шире чѣмъ въ вертикальномъ. Въ серединѣ его особенно ясно виднѣется маленькое кольцо, соотвѣтствующее очевидно углубленію сѣтчатой оболочки.

Отдѣльныя части желтаго пятна съ такимъ же рисункомъ появляются иногда въ полѣ зрѣнія и при постоянномъ освѣщеніи; это бываетъ всего чаще при голубомъ свѣтѣ. Особенно ясно видно и при этомъ условіи углубленіе сѣтчатой оболочки.

Весьма замѣчательное субъективное явленіе представляютъ такъ называемые Гайдингеровы поляризаціонные пучки. Если смотрѣть на равномѣрно освѣщенную поверхность, занимающую большую часть поля зрѣнія и держать поляризаціонный снарядъ передъ глазами, то показываются два матовыя, желтоватыя мерцанія, выходящія пучками съ обѣихъ сторонъ разсматриваемой точки и притомъ отвѣсно къ плоскости поляризаціи падающаго свѣта. Наоборотъ вокругъ поляризаціонной плоскости разливается голубое мерцаніе. Все явленіе занимаетъ зрительный уголъ въ нѣсколько градусовъ. Оно исчезаетъ впрочемъ очень быстро, если

Гайдингеровы поляризаціонные пучки.

плоскость поляризаціи не измѣняетъ своего положенія. Но какъ только послѣднее измѣняется при быстромъ поворотѣ поляризаціоннаго снаряда, то явленіе вновь показывается и снова быстро исчезаетъ.

Причину этаго замѣчательнаго, не очень давно открытаго явленія искали сначала въ преломляющихъ средахъ глаза. Но подумавъ нѣсколько, легко убѣдиться, что причина должна лежать или непосредственно впереди сѣтчатой оболочки, или въ ней самой. Гельмгольтцъ объясняетъ это явленіе весьма правдоподобнымъ предположеніемъ, что радіальные элементы сѣтчатой оболочки, подобно многимъ органическимъ волокнамъ, обладаютъ свойствомъ двоякаго преломленія и поглащаютъ различно окрашенный свѣтъ какъ ординарныхъ такъ и экстра-ординарныхъ лучей въ различной степени. То обстоятельство, что радіальные элементы расположены въ желтомъ пятнѣ наискось и симметрично вокругъ центра, даетъ этимъ свойствамъ возможность выразиться съ большой силой. Для объясненія страннаго появленія пучковъ слѣдовало бы еще только принять, что въ разбираемыхъ радіальныхъ волокнахъ голубой свѣтъ поглощается сильнѣе, когда черезъ нихъ проходитъ экстраординарный лучъ, и слабѣе, когда проходитъ ординарный.

ДВИЖЕНІЯ ГЛАЗЪ.

Основные законы движенія глазныхъ яблокъ.

§ 50. Явленія, съ которыми мы имѣли до сихъ поръ дѣло, происходятъ въ каждомъ изъ глазъ совершенно одинаково, при томъ они не стоятъ ни въ какой связи съ подвижностью глазныхъ яблокъ; но въ развитіи дальнѣйшихъ сторонъ конкретныхъ зрительныхъ актовъ принимаютъ непосредственно участіе и движенія глазъ вообще и въ част-

ности то обстоятельство, что мы смотримъ обыкновенно не однимъ, а двумя глазами. Поэтому, прежде чѣмъ продолжать описаніе характеровъ зрительныхъ ощущеній, намъ необходимо познакомиться съ законами движенія глазныхъ яблокъ и съ дѣятельностью механизмовъ, производящихъ эти движенія.

Выше, изъ анатомическаго описанія положенія глазнаго яблока въ глазницѣ, читатель видѣлъ, что при нормальныхъ условіяхъ оно можетъ производить лишь вращательныя движенія безъ перемѣщенія своего центра вращенія въ пространствѣ. Это обстоятельство заставляетъ насъ опредѣлить прежде всего положеніе названнаго центра.

Къ раціональному рѣшенію этой задачи первый приступилъ проф. Юнге въ лабораторіи Гельмгольтца. Онъ измѣрялъ степень сближенія между собою свѣтовыхъ отблесковъ отъ роговицъ обоихъ глазъ, когда зрительныя оси послѣднихъ переходили изъ параллельнаго положенія въ сходящееся подъ опредѣленнымъ угломъ. Оказалось однако, что при этомъ нужно принимать въ каждомъ частномъ случаѣ во вниманіе степень эллиптичности роговой оболочки, и такъ какъ послѣдняя величина измѣнчива, то способъ не могъ получить общаго значенія.

Дондерсъ и Дойеръ выработали поэтому болѣе простой способъ, приложимый къ каждому изъ глазъ въ отдѣльности. Съ этой цѣлью они опредѣляли прежде всего посредствомъ офтальмометра горизонтальный діаметръ окружности роговой оболочки и положеніе ея оси; *) а за тѣмъ—уголъ вращенія

*) Для этого поверхъ офтальмометрической трубки помѣщалось пламя, дающее отраженіе отъ наблюдаемой роговицы; а съ боку инструмента находилась подвижная въ горизонтальномъ направленіи мишень для фиксаціи зрительной оси наблюдаемаго глаза. Послѣдней давалось при опытѣ такое положеніе, чтобы каждая половина отблеска, раздвоившагося вслѣдствіе вращенія пластинокъ, сливалась съ соотвѣтствующею половиною раздвоившихся краевъ роговой оболочки. При этомъ условіи

роговицы, соотвѣтствующій величинѣ ея перемѣщенія на длину найденнаго діаметра. *) Имѣя эти данныя, они вычисляли отстояніе центра вращенія отъ хорды т. е. діаметра роговицы изъ форм. $x=a \cot g\ \beta$, въ которой x есть это отстояніе; a — полудлина діаметра окружности роговицы а β — половина угла перемѣщенія глаза.

Центръ вращенія лежитъ среднимъ числомъ въ нормальныхъ глазахъ 10,957 мм. позади плоскости, проведенной черезъ наружность роговицы, или 13,557 мм. позади ея верхушки. У близорукихъ отстояніе это больше—15,86 мм. отъ верхушки роговой оболочки; а у дальнозоркихъ наоборотъ меньше—12,32 мм. Кромѣ того нужно замѣтить, что центръ вращенія лежитъ скорѣе въ геометрической, чѣмъ въ зрительной оси глаза; впрочемъ уклоненіе и отъ послѣдней такъ незначительно, что имъ можно вообще пренебрегать.

Другая постоянная точка, важная для опредѣленія движеній глазнаго яблока, должна быть дана на его передней поверхности; направленіе и величина перемѣщенія такой точки изъ какого нибудь положенія, взятаго за первичное, будетъ очевидно соотвѣтствовать существующему въ данный моментъ передвиженію глаза. За неимѣніемъ такой точки мы руководствуемся обыкновенно перемѣщеніями зрачка и убѣждаемся путемъ наблюденій надъ ними, что каждый изъ глазъ

ось офтальмометра давала положеніе оси роговицы; линія отъ мишени къ центру наблюдаемаго зрачка—положеніе зрительной оси и наконецъ изъ угла вращенія пластинокъ получалась путемъ извѣстнаго вычисленія половина искомаго діаметра окружности роговицы.

*) Съ послѣдней цѣлью передъ наблюдаемымъ глазомъ, находящимся въ описанномъ положеніи, т. е. когда ось его роговицы совпадаетъ съ осью офтальмометра, вѣшалось кольцо съ натянутой въ немъ тонкой вертикальной нитью, и глазъ двигался вправо и влѣво до тѣхъ поръ, пока нить не совпадала съ тѣмъ и другимъ краемъ роговицы. Углы вращенія въ ту и другую сторону, сложенные вмѣстѣ, и давали искомую величину. При этихъ опытахъ оказалось, что для нормальныхъ глазъ она равна приблизительно 56° и притомъ распредѣлена въ обѣ стороны почти поровну.

способенъ вращаться во всевозможныхъ направленіяхъ, т. е. около всѣхъ мыслимыхъ осей вращенія, но что при смотрѣніи обоими глазами, съ цѣлью яснаго видѣнія предметовъ, наполняющихъ поле зрѣнія, совмѣстныя движенія глазныхъ яблокъ подчиняются опредѣленнымъ законамъ: при смотрѣніи въ безконечную даль оси зрѣнія ставятся параллельно; разсматриваніе предметовъ, лежащихъ на конечныхъ разстояніяхъ прямо передъ нами, ведетъ къ равному съ обѣихъ сторонъ поворачиванію обоихъ глазъ кнутри (къ сведенію зрительныхъ осей), и тѣмъ къ большему, чѣмъ ближе предметъ; разсматриваніе предметовъ, лежащихъ надъ головой вызываетъ подниманіе обоихъ глазъ кверху; предметы, лежащіе внизу, заставляютъ ихъ опускаться книзу; наконецъ, разсматриваніе предметовъ, лежащихъ въ боковыхъ частяхъ поля зрѣнія, вызываетъ движеніе обоихъ глазъ въ сторону предмета. Однимъ словомъ, за исключеніемъ случаевъ сведенія осей, гдѣ глаза двигаются на встрѣчу другъ другу, движенія глазныхъ яблокъ всегда одноименны по направленію. Отсюда уже очевидно слѣдуетъ, что при нормальныхъ условіяхъ невозможны такого рода движенія, чтобы одинъ глазъ поднимался кверху, а другой опускался книзу, или чтобы зрительныя оси становились расходящимися и пр.

Всѣмъ этимъ рядомъ явленій управляетъ слѣдующій законъ: при разсматриваніи предметовъ, наполняющихъ поле зрѣнія, съ цѣлью яснаго видѣнія ихъ, зрительныя оси обоихъ глазъ ставятся относительно каждаго отдѣльнаго предмета такъ, чтобы образы его въ обоихъ глазахъ падали на желтыя пятна, какъ на мѣста наияснѣйшаго видѣнія. Этотъ законъ можетъ быть доказанъ во всякомъ частномъ случаѣ путемъ офтальмоскопическаго изслѣдованія.

Сумма возможныхъ глазныхъ движеній этимъ однако не исчерпывается. Цѣлый рядъ разнообразныхъ опытовъ, объ

которыхъ сейчасъ будетъ рѣчь, показываетъ, что рядомъ съ описанными перемѣщеніями, глазъ производитъ иногда, вращательныя движенія около своей переднезадней оси (или около зрительной оси, если принять, что центръ вращенія глаза совпадаетъ съ послѣднею). Этого рода вращенія уже нельзя выслѣдить путемъ наблюденій надъ перемѣщеніями зрачка, и потому для опредѣленія ихъ нужны спеціальные опыты.

Самая простая и удобная форма ихъ заключается въ томъ, чтобы, развивши въ глазу при данномъ исходномъ положеніи его (объ этомъ положеніи будетъ сказано послѣ) горизонтальный или вертикальный слѣдъ, измѣнять положеніе глаза относительно головы и проицировать слѣдъ на плоскость, представляющую не яркія горизонтальныя или вертикальныя полосы; сравненіе направленія послѣднихъ съ направленіемъ линейнаго слѣда тотчасъ же показываетъ, произошло ли вращеніе глаза около передне-задней оси или нѣтъ.

Въ частности опытъ устраивается такъ: въ комнатѣ, оклеенной свѣтлосѣрыми обоями съ вертикальными и горизонтальными блѣдными полосами, на стѣнѣ натягивается горизонтально или вертикально, на уровнѣ глазъ наблюдателя, черная или ярко-цвѣтная лента отъ 2 до 3 фут. длиною; наблюдатель становится передъ срединой ленты такимъ образомъ, чтобы срединная плоскость головы и тѣла была перпендикулярна къ плоскости стѣны (это узнается легко, если свести зрительныя оси такъ, чтобъ лента раздвоилась: тогда двойные образы должны сливаться между собою въ одну прямую линію), фиксируетъ глазомъ средину ленты и потомъ, не измѣняя положенія головы (для этого она должна быть подперта съ затылка и боковъ), передвигаетъ глазъ то прямо вверхъ, или внизъ, направо или налѣво, или наконецъ двигаетъ имъ въ косвенныхъ направленіяхъ, т. е. кверху и вправо, кверху и влѣво и пр.

Путемъ такихъ опытовъ найдено:

Что для глаза существуетъ такое положеніе, при которомъ движеніе его прямо кверху, или книзу, прямо направо или налѣво не сопровождается вращеніемъ яблока около передне-задней оси; (это положеніе и называется первичнымъ);

но что при всѣхъ прочихъ передвиженіяхъ глаза они всегда связаны съ вращеніями его около передне-задней оси.

Послѣднія, какъ это доказалъ Дондерсъ, у всѣхъ людей одинаковы по направленію и имѣютъ для каждаго даннаго уклоненія глаза отъ первичнаго положенія опредѣленную величину. Когда зрительная ось поднята кверху, то передвиженіе ея прямо на право даетъ вращеніе яблока на лѣво (т. е. въ сторону обратную движенію часовой стрѣлки), а передвиженіе на лѣво—вращеніе на право.

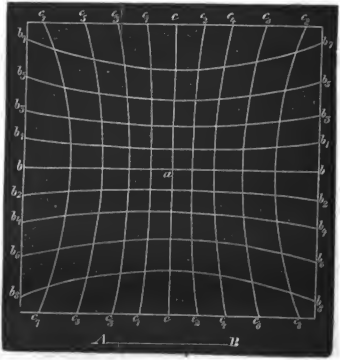
Когда зрительная ось опущена книзу, происходитъ обратное: передвиженіе яблока на право даетъ вращеніе на право, передвиженіе на лѣво—вращеніе на лѣво.

Другими словами: при передвиженіи глазной оси кверху и направо, или книзу и на лѣво, горизонтальный свѣтовой слѣдъ наклоняется противъ горизонта лѣвымъ концомъ книзу, а правымъ кверху; а при передвиженіи оси кверху и на лѣво, или книзу и на право, лѣвый конецъ горизонтальнаго слѣда поднимается кверху, а правый опускается книзу. Съ вертикальными слѣдами бываетъ обратное—при передвиженіи глаза кверху и на право, верхній конецъ вертикальнаго слѣда отклоняется не влѣво, а вправо;—изъ этого не слѣдуетъ однако заключать, что глазное яблоко повертывается на право, потому что въ этомъ случаѣ вертикальныя полосы обоевъ не совпадаютъ съ проэкціями линій перпендикулярныхъ къ направленію зрительной оси, послѣднія каза-

лись бы отклоненными въ томъ же направленіи какъ и свѣтовой слѣдъ, но еще сильнѣе его.

Законъ измѣненія положенія вертикальныхъ и горизонтальныхъ слѣдовъ, при всевозможныхъ перемѣщеніяхъ глаза изъ первичнаго положенія, выраженъ Гельмгольтцемъ графически на приложенномъ рис. 60. Глазъ стоитъ прямо пе-

Рис. 60.

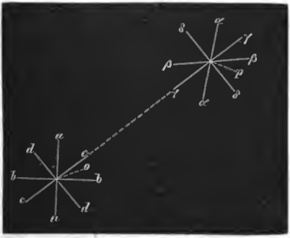


редъ a, такъ, что его ось перпендикулярна къ плоскости рисунка. Тогда отъ передвиженія глаза прямо вправо и влѣво горизонтальный слѣдъ остается горизонтальнымъ; но отъ передвиженія вправо и кверху, лѣвый конецъ его опускается книзу, и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше уклоненъ глазъ отъ своего первичнаго положенія. Кривыя $c_1\ c_1$, $c_2\ c_2$ и пр.

представляютъ соотвѣтствующія измѣненія въ положеніи вертикальныхъ слѣдовъ. При передвиженіи глаза вправо и кверху или влѣво и книзу, наклоняется вправо верхній конецъ слѣда. И здѣсь отклоненіе увеличивается по мѣрѣ удаленія глаза отъ первичнаго положенія. Легко понять, что при сказанномъ условіи кривыя b_1 b_1, c_1 c_1 и пр. должны представлять собою гиперболы.

Принимая во вниманіе, что при всякомъ данномъ вращеніи глазнаго яблока около передне-задней оси горизонтальный слѣдъ поворачивается въ одну сторону, а вертикальный повидимому въ другую, слѣдуетъ ожидать, что между названными направленіями (т. е. горизонтальнымъ и вертикальнымъ) слѣдовъ должно существовать промежуточное, такъ сказать среднее, направленіе, которое должно оставаться па-

Рис. 61.



раллельнымъ себѣ при данномъ вращеніи глаза. Это такъ и бываетъ съ косыми линіями, которыя фиксируются глазомъ въ первичномъ положеніи, а затѣмъ слѣды ихъ переносятся по направленію этихъ же линій, или по перпендикулярамъ къ нимъ. Сказанное выражено на рис. 61; когда глазъ, фикси-

руя въ первичномъ положеніи точку *o*, передвигается въ направленіи *op*, то слѣдъ прямаго креста *aabb* принимаетъ положеніе $\alpha\alpha\beta\beta$; слѣдъ же косаго креста *ccdd* сохраняетъ параллельное прежнему положеніе $\gamma\delta\delta\gamma$.

Такъ какъ совпаденіе линій *c c* и $\gamma\,\gamma$, равно какъ параллельность между собою *dd* и $\delta\,\delta$ можетъ быть достигнута однимъ вращеніемъ глазнаго яблока (безъ вращенія его около передне-задней оси) около оси параллельной *dd* и $\delta\,\delta$ и въ тоже время перпендикулярной къ плоскости, проведенной черезъ точку вращенія глаза и линію перемѣщенія его *o p*; то окончательное положеніе глаза при всякомъ передвиженіи его изъ первичнаго положенія таково, какъ будто онъ вращался при этомъ переходѣ около оси перпендикулярной къ первому и второму положенію зрительной линіи.

Въ этой формѣ законъ движенія глазъ формулированъ Листингомъ и онъ имѣетъ мѣсто не только для случаевъ прямолинейнаго, но и какого угодно, перемѣщенія зриг льной оси изъ первичнаго положенія во вторичное.

Законъ измѣненія положенія свѣтовыхъ слѣдовъ остается безъ измѣненія для случаевъ смотрѣнія параллельными осями. Но при сведеніи ихъ онъ терпитъ нѣкоторыя колебанія. Напр. для глазъ Гельмгольтца уклоненія можно свести нато, какъ будто первичное положеніе глазъ, при сведенныхъ осяхъ, наклонено нѣсколько книзу противъ нормы. Впрочемъ и здѣсь уклоненія вертикальныхъ и горизонтальныхъ слѣдовъ однородны по направленію съ разобранными выше случаями.

Законы вращенія глазъ можно провѣрять, независимо отъ проицированія свѣтовыхъ слѣдовъ, и другими способами. Фикъ и Мейсснеръ наблюдали напр. съ этой цѣлью перемѣщенія въ полѣ зрѣнія слѣпаго пятна по отношенію къ фиксируемой точкѣ, при перемѣщеніи зрительной оси относительно головы. Позже, Мейсснеръ, при опредѣленіи вер-

тикальнаго гороптера (смотри напр. русскій переводъ учебника физіологіи Германна стр. 295—297), нашелъ явственныя доказательства вращенія глазъ около передне-заднихъ осей. Наконецъ, тоже самое показано и опытами Фолькманна, который фиксировалъ, на вертикальной стѣнѣ, при параллельныхъ и сходящихся осяхъ, два подвижныхъ около центра кружка, съ начерченнымъ на каждомъ изъ нихъ радіусомъ; при каждомъ измѣненіи положенія зрительныхъ осей онъ ставилъ себѣ задачей установить одинъ изъ радіусовъ кружковъ такимъ образомъ, чтобы оба сливались между собою; уклоненія радіусовъ отъ параллельности и давали величины вращенія глазъ около передне-заднихъ осей.

Вращательныя движенія глазныхъ яблокъ около зрительныхъ осей важно знать въ томъ отношеніи, что они бываютъ причиною ложной локализаціи предметовъ въ полѣ зрѣнія. Такъ, при передвиженіи глазъ изъ первичнаго положенія въ косвенномъ направленіи всякая фиксируемая точка будетъ перемѣщаться изъ истиннаго положенія въ направленіи передвиженія глаза; прямая линія, разсматриваемая поднятыми кверху глазами, будетъ казаться выгнутой книзу и проч. Это и бываетъ вѣроятно одною изъ причинъ, почему человѣкъ избѣгаетъ вообще передвиженій глазъ, связанныхъ съ вращеніями ихъ около зрительныхъ осей, когда онъ разсматриваетъ поочередно предметы, наполняющіе его поле зрѣнія. Съ этой цѣлью, онъ всегда поворачиваетъ голову такимъ образомъ, чтобы стать, какъ говорится, лицомъ къ лицу съ разсматриваемымъ предметомъ, т. е. такъ, чтобы оси зрѣнія находились въ первичномъ положеніи относительно послѣдняго. Потому-то, при разсматриваніи предметовъ, лежащихъ высоко надъ головою, мы откидываемъ голову назадъ, при противуположныхъ условіяхъ наклоняемъ ее книзу и пр. Черезъ это двигательный снарядъ головы получаетъ значеніе механизма, сохраняющаго постояннымъ

положеніе зрительной плоскости относительно головы; а отсюда вполнѣ объясняется то обстоятельство, что голова, подобно глазамъ, имѣетъ подвижность во всевозможныхъ направленіяхъ.

Описавши такимъ образомъ всѣ существенные характеры глазныхъ движеній, слѣдуетъ перейти теперь къ описанію механической стороны дѣятельности производящихъ ихъ мышцъ.

Сочетанная дѣятельность глазныхъ мышцъ.

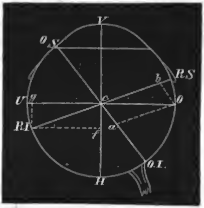
§ 51. Задача наша при этомъ должна очевидно заключаться въ томъ, чтобы изъ извѣстнаго положенія мышцъ глазнаго яблока вывести направленія его движеній, соотвѣтствующія дѣятельности каждой мышцы въ отдѣльности и сочетанію ихъ по 2, по 3 и т. д.

Опредѣленіемъ положенія прямыхъ и косыхъ мышцъ глаза, равно какъ опредѣленіемъ положенія соотвѣтствующихъ имъ осей вращенія *), занимались Рюте и Фикъ, и оба изслѣдователя пришли къ нѣсколько различнымъ результатамъ. По Фику ни одна изъ прямыхъ мышцъ не ворочаетъ глазъ около вертикальныхъ и горизонтальныхъ осей; такъ что даже горизонтальное сведеніе и разведеніе глазъ требуетъ, по его мнѣнію, совокупнаго дѣйствія по крайней мѣрѣ двухъ мышцъ. По Рюте же: прямая наружняя и внутренняя мышцы двигаютъ яблоко около вертикальной оси; ось вращенія для прямой верхней и нижней мышцы лежитъ хотя и горизонтально, но смотритъ внутреннимъ концомъ кпереди, образуя съ передне-задней осью глаза уголъ въ 70°; ось вращенія обѣихъ косыхъ мышцъ лежитъ тоже горизонтально, но обращена наружнымъ концемъ впередъ и образуетъ

*) Опредѣленіе точекъ прикрѣпленія каждой мышцы даетъ направленіе мышечной тяги (для верхней косой мышцы направленіе тяги опредѣляется линіей, соединяющей блокъ съ точкою прикрѣпленія мышцы къ глазному яблоку); а линія перпендикулярная къ плоскости, проведенной черезъ направленіе тяги и центръ вращенія глазнаго яблока, есть ось вращенія соотвѣтствующей мышцы.

съ передне-задней осью уголъ около 45°. Стало быть по Рюте актъ горизонтальнаго сведенія и разведенія зрительныхъ осей производится въ каждомъ данномъ случаѣ одною только мышцею; а для движенія глазъ около горизонтальной оси, идущей справа налѣво (т. е. для движенія глаза прямо кверху или книзу) сокращеніе верхней и нижней прямыхъ мышцъ должно сочетаться съ дѣятельностью косыхъ; именно, верхняя прямая съ нижней косой, и нижняя прямая съ верхней косой. Такое сочетаніе, подтверждаемое явленіями параличей глазныхъ мышцъ, выводится изъ извѣстнаго механическаго закона, по которому, для маленькихъ вращеній, оси вращенія могутъ быть находимы изъ параллелограма силъ. Случай такого сложенія изображенъ на рис. 62, который

Рис. 62.



представляетъ горизонтальный разрѣзъ лѣваго глаза, если на него смотрѣть сверху. Ось вращенія обѣихъ косыхъ мышцъ обозначена буквами OSOI; ось вращенія верхней и нижней прямой мышцы есть линія RSRI. Если принять, что величина *c b* пропорціональна величинѣ вращенія глаза верхней прямой мышцей, а *c a* пропорціональна соотвѣтствующей величинѣ нижней косой, то діагональ cO будетъ осью ре-

зультирующаго вращенія прямо кверху; на томъ же основаніи *c g* — осью результирующаго движенія прямо книзу. Такъ какъ ось вращенія верхней и нижней прямой мышцы лежитъ ближе къ горизонтальной UO, чѣмъ OSOI, то понятно, что при движеніяхъ глазъ съ параллельными осями прямо кверху и книзу первыя мышцы должны работать сильнѣе послѣднихъ. Чтобы двинуть глазъ косвенно кнутри и кверху, должны очевидно сочетаться между собою дѣятельности мышцъ, ворочающихъ яблоко прямо кнутри и прямо кверху, т. е. внутренняя прямая мышца съ прямой верхней и косой нижней.

Еще лучше наблюдать сочетанную дѣятельность мышцъ, при движеніи глазъ, на моделяхъ, называемыхъ **офтальмотропами**. Изъ нихъ по простотѣ предпочтительнѣе прочихъ инструментъ Кнаппа. Въ немъ къ глазнымъ яблокамъ, подвижнымъ около центра, прикрѣплены въ надлежащихъ мѣстахъ и протянуты въ надлежащихъ направленіяхъ шелковыя нити, изображающія мышцы глазнаго яблока; каждая нить проходитъ черезъ дырочку доски, укрѣпленной позади яблока, и отягощена на свободномъ концѣ гирей; гири всѣхъ нитей лежатъ въ одномъ уровнѣ при первичномъ положеніи глаза. Если яблоко повернуть рукой въ какомъ нибудь направленіи, то опускающіяся гири указываютъ на мышцы, сокращающіяся при данномъ движеніи; притомъ степень опусканія каждой изъ нихъ служитъ выраженіемъ степени участія соотвѣтствующей мышцы въ сочетанномъ движеніи.

Координація глазныхъ движеній.

§ 52. Что касается до координаціи описанныхъ глазныхъ движеній, то въ этомъ отношеніи уму представляются двѣ возможности: или всѣ они заучены подъ вліяніемъ опредѣленныхъ цѣлей; или нѣкоторыя изъ комбинированныхъ движеній глаза суть продукты прирожденной организаціи нервныхъ механизмовъ, управляющихъ глазными мышцами.

Та сторона глазныхъ движеній, которая выражается въ сведеніи зрительныхъ осей на разсматриваемый предметъ, безспорно заучена; — новорожденныя дѣти положительно не умѣютъ смотрѣть и выучиваются этому искуству не ранѣе мѣсяца; тоже бываетъ и съ прозрѣвшими слѣпорожденными — они, какъ говорится, не умѣютъ сначала управлять глазами. Здѣсь ясенъ и весь путь заученія. У дѣтей и у прозрѣвшихъ слѣпорожденныхъ вкусъ направленъ по преимуществу къ яркимъ ощущеніямъ, а ощущенія въ сферѣ желтаго пятна и у нихъ опредѣленнѣе и рѣзче, чѣмъ въ прочихъ частяхъ сѣтчатки; оттого тѣ и другіе и выучиваются мало по малу держать глаза такимъ образомъ, чтобы получать наибольшее наслажденіе, или все равно, наиболѣе ясное ощущеніе. Въ справедливости того, что ясное видѣніе есть цѣль, подъ вліяніемъ которой заучается сведеніе зрительныхъ осей, можно убѣдиться, по мнѣнію Гельмгольтца, изъ слѣдующихъ фактовъ: высоко надъ головой мы видимъ обыкновенно только далекіе предметы, требующіе незначительнаго сведенія зрительныхъ осей, или даже параллельнаго положенія ихъ; внизу же, подъ ногами, лежатъ наоборотъ только близкіе предметы, требующіе всегда значительнаго сведенія осей; — параллельно этому, поднявши глаза сильно кверху, намъ легко удается слабое сведеніе или даже параллельное положеніе осей, а сильное сведеніе ихъ трудно; при опущенныхъ же глазахъ бываетъ совершенно обратное. Въ пользу того, что ясность видѣнія служитъ руководителемъ глазныхъ движеній, говорятъ далѣе слѣдующіе опыты, которые можно назвать по отношенію къ нашему вопросу даже прямыми. Въ стереоскопѣ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, каждая изъ картинокъ должна дать образъ на желтомъ пятнѣ своей стороны, чтобы обѣ слились въ одно цѣлое; хотя это сліяніе происходитъ обыкновенно при нѣсколько сведенныхъ осяхъ, но понятно, что оно можетъ происходить и при условіи,

если стереоскопическую картинку разрѣзать пополамъ и начать удалять половинки другъ отъ друга, — нужно только, чтобы каждая изъ зрительныхъ осей перемѣщалась вмѣстѣ съ своей половиной въ одномъ направленіи. Сдѣлайте этотъ опытъ—зрительныя, оси пойдутъ какъ бы невольно вслѣдъ за картинками; т. е. подъ вліяніемъ цѣли сливать стереоскопически два образа, человѣкъ производитъ даже ненормальное движеніе глазами.

Еще поучительнѣе слѣдующій опытъ Гельмгольтца и Дондерса. Передъ однимъ изъ глазъ, смотрящихъ на далекій предметъ, ставится слабая призма преломляющимъ угломъ кнутри; черезъ это оси должны быть сведены сильнѣе, чтобы видѣть предметъ по прежнему одиноко, и глаза легко достигаютъ этой цѣли. За симъ наблюдатель начинаетъ повертывать призму потихоньку преломляющимъ угломъ книзу и при этомъ по прежнему старается видѣть предметъ одиноко; послѣ нѣкоторыхъ усилій и это удается. Призма быстро отнимается отъ глаза, и наблюдатель вмѣсто одного предмета видитъ два, стоящихъ другъ надъ другомъ. Дѣло объясняется очень просто тѣмъ, что глазъ свободный отъ призмы смотритъ на предметъ прямо, а глазъ съ призмой, опущенной преломляющимъ ребромъ книзу, долженъ наклониться книзу, чтобы, подобно сосѣду, получить образъ отъ предмета на желтомъ пятнѣ. — Онъ и дѣлаетъ это ненормальное движеніе подъ вліяніемъ цѣли сохранить образъ одинокимъ, какъ это ясно показываетъ раздвоеніе предмета, когда отнята призма.

И такъ, движенія глазъ, поскольку они заключаются въ сведеніи зрительныхъ осей на разсматриваемомъ предметѣ, принадлежатъ несомнѣнно къ заученнымъ, и руководителемъ при этомъ заучиваніи служитъ ясность видѣнія. Но какъ смотрѣть на вращенія глазъ около зрительной оси? — принадлежатъ ли они тоже къ заученнымъ движеніямъ, и

если да, то въ чемъ можетъ заключаться принципъ, регулирующій эти вращенія до степени закона Дондерса, по которому, какъ читатель видѣлъ, всякому данному положенію глазной оси относительно головы соотвѣтствуетъ извѣстная величина вращенія яблока около передне-задней оси?

На первый взглядъ, между разбираемыми вращеніями и движеніями глазнаго яблока, которыя ведутъ къ передвиженію зрительной оси, огромная разница. Первыя не доходятъ до сознанія и познаются лишь косвенно, путемъ научнаго анализа явленій; а вторыя сознаются вполнѣ — мы можемъ, даже закрывши глаза, опредѣлить направленіе, въ которомъ передвигаемъ зрительную ось. Казалось бы послѣ этого, что вращенія глазъ около зрительныхъ осей не могутъ подлежать волѣ, и что поэтому они не могутъ быть заученными. Такое заключеніе было бы однако поспѣшно: мы имѣемъ чрезвычайно ничтожныя понятія о комбинированной дѣятельности гортанныхъ мышцъ при разговорѣ и пѣніи, однако никто не сомнѣвается въ подчиненности ихъ волѣ и въ томъ, что всѣ голосовыя движенія заучены. Кромѣ того, Гельмгольтцъ описываетъ опытъ, указывающій на то, что подъ вліяніемъ опредѣленной цѣли мы можемъ повертывать яблоко около зрительной оси въ любую сторону, все равно, какъ опредѣленная цѣль можетъ заставить зрительныя оси принять расходящееся направленіе. Вотъ этотъ опытъ. Берутъ двѣ равностороннія призмы съ преломляющимъ угломъ въ 90° и обѣ ставятъ передъ однимъ изъ глазъ, смотрящихъ на далекій предметъ, такимъ образомъ, чтобы площади ихъ основаній были параллельны другъ другу, а преломляющія ребра обращены — одно кверху, другое книзу. При этомъ условіи предметъ, разсматриваемый черезъ призмы, нисколько не измѣняетъ своего положенія, слѣдовательно оба глаза смотрятъ на него совершенно одинаково. Если же одну изъ призмъ нѣсколько повернуть около зрительной оси разсмат-

ривающаго глаза, то черезъ это повертывается и разсматриваемый предметъ. Тогда послѣдній представляется для свободнаго и вооруженнаго призмами глаза очевидно въ видѣ перекрещеннаго двойнаго образа; но если глазъ, вооруженный призмами, будетъ производить движенія, переходя отъ одной точки предмета къ другой, то онъ попадаетъ наконецъ на такое положеніе, при которомъ двойные образы исчезаютъ. Когда глазъ оставался въ этомъ положеніи нѣсколько времени, быстрое отниманіе отъ него призмъ ведетъ снова къ появленію двойныхъ образовъ. Явно, что подъ вліяніемъ цѣли одиночнаго видѣнія глазъ произвелъ компенсирующее вращательное движеніе около передне-задней оси.

И такъ, со стороны подчиненности вращательныхъ движеній волѣ нѣтъ препятствій къ тому, чтобы считать ихъ заученными. Но что же руководитъ въ такомъ случаѣ заучиваніемъ?

Выше было сказано, что вращеніе глаза около зрительной оси ничѣмъ не выражается въ сознаніи, и въ этомъ обстоятельствѣ лежитъ причина, почему на нашъ вопросъ не существуетъ положительнаго отвѣта. Фикъ считаетъ напр. регуляторомъ вращеній принципъ наименьшаго дѣйствія, т. е., что человѣкъ, ставя глазъ въ опредѣленное положеніе, употребляетъ въ дѣло такого рода вращеніе, при посредствѣ котораго цѣль достигается съ наименьшей тратой мышечной силы *). Гельмгольтцъ же думаетъ, сверхъ того, что законъ Дондерса важенъ для развитія представленій о покоѣ пред-

*) Подобную экономію природы допустить совершенно естественно, потому что принципъ наименьшаго дѣйствія высказывается во многихъ сторонахъ организаціи двигательнаго аппарата, напр. въ натянутости мышцъ, въ устройствѣ сочлененій и связокъ, ограничивающемъ роль мышцъ при стояніи и проч.;—экономія силы въ нашемъ случаѣ тѣмъ болѣе вѣроятна, что глазныя движенія принадлежатъ къ наиболѣе частымъ въ тѣлѣ.

метовъ, при условіи, когда глаза находятся въ движеніи; такъ какъ этимъ закономъ достигается для всякаго даннаго положенія глаза, какимъ бы путемъ онъ не пришелъ въ него, постоянство положенія сѣтчатки по отношенію къ зрительной оси. Что мы дѣлаемъ, въ самомъ дѣлѣ, когда желаемъ убѣдиться въ абсолютномъ покоѣ предметовъ, наполняющихъ поле зрѣнія? — Мы не довольствуемся для этого однимъ взглядомъ на который нибудь изъ нихъ, а опредѣляемъ разстоянія поочередно между тѣми или другими и часто возвращаемся къ предметамъ, которые уже были наблюдаемы, чтобы замѣтить, не произошло ли измѣненія въ ихъ относительномъ положеніи со времени перваго наблюденія. Еслибы при этомъ возвратѣ глаза въ прежнее положеніе величина вращенія яблока около передне-задней оси не оставалась прежнею, то очевидно для глаза измѣнилось бы и взаимное положеніе предметовъ; другими словами, сознаніе должно было бы заключить о существованіи передвиженія предметовъ, когда его въ сущности нѣтъ. На этомъ-то основаніи Гельмгольтцъ и думаетъ, что вращательныя движенія яблокъ регулируются принципомъ наилегчайшаго оріентированія движущагося глаза между покоющимися предметами. Словомъ наилегчайшій онъ хочетъ выразить то, что оріентированіе могло бы происходить и внѣ подчиненія вращательныхъ движеній опредѣленному закону, но что тогда оно было бы труднѣе.

И такъ, вращеніе глазъ около передне-заднихъ осей, поскольку они подчиняются закону Дондерса, тоже можно считать заученными движеніями.

Послѣдняя форма сочетаннаго мышечнаго движенія въ глазу, которая долѣе другихъ считалась продуктомъ прирожденной организаціи нервно-мышечнаго снаряда глаза, заключается въ связи аккомодативныхъ движеній съ положеніями глазнаго яблока. Связь эта выражается въ томъ, что движе-

ніе глаза кнутри вызываетъ невольно приспособленіе вблизь, и наоборотъ; другими словами, при движеніи яблока кнутри и кнаружи повторяется то, что обыкновенно сопутствуетъ этимъ перемѣщеніямъ. Нужно, впрочемъ, замѣтить, что связь эта далеко не роковая. Если, напр., смотрѣть на печатную страницу однимъ глазомъ свободно, а другимъ черезъ коническую трубку, свернутую изъ бумаги (широкимъ концомъ къ глазу), то хотя оба глаза бываютъ приспособлены къ буквамъ страницы, но оси ихъ не бываютъ сведены на одну точку, и такое смотрѣніе не стоитъ глазамъ ни малѣйшихъ усилій, что было бы невозможно при существованіи роковой, т. е. анатомической, связи между сокращеніями внутренней прямой и рѣсничной мышцъ. Противъ такой связи говоритъ далѣе то обстоятельство, что путемъ ношенія очковъ можно измѣнить существующее нормальное отношеніе между степенями сокращенія обѣихъ мышцъ и замѣнить его новымъ. Такъ, если человѣкъ съ нормальными глазами надѣнетъ слабые, вогнутые (разсѣевающіе) очки, то при смотрѣніи на безконечно далекіе предметы, ему приходится, съ цѣлью яснаго видѣнія ихъ, связывать параллельное положеніе зрительныхъ осей съ аккомодаціею уже не въ безконечную даль, а вблизь,—и это онъ можетъ сдѣлать, хотя и съ нѣкоторымъ усиліемъ. Во всякомъ же случаѣ, у людей, носящихъ очки постоянно, нормальное отношеніе между степенью аккомодаціи и сведенія зрительныхъ осей замѣняется новымъ и послѣднее дѣлается для нихъ привычнымъ, такъ что, по снятіи очковъ, такіе люди должны употреблять усилія, чтобы видѣть даже такіе предметы, которые лежатъ въ предѣлахъ ихъ зрѣнія.

Все это показываетъ, что разбираемая связь есть продуктъ заученія сочетаннаго движенія. Въ этомъ смыслѣ она представляетъ одинъ изъ самыхъ поучительныхъ примѣровъ чисто двигательной ассоціаціи; а фактъ невольнаго наступленія аккомадаціи вблизь, при поворачиваніи глаза кнутри—не менѣе

поучительный примѣръ воспроизведенія ассоціаціи въ цѣлости, когда приводится въ дѣятельность одинъ изъ ея членовъ.

Въ заключеніе слѣдуетъ еще упомянуть объ одномъ очень странномъ и до сихъ поръ необъяснимомъ свойствѣ двигательнаго аппарата глаза, которое играетъ вѣроятно очень важную роль въ дѣлѣ заученія послѣднимъ движеній. Это— свойство глазъ сохранять съ извѣстнымъ упорствомъ сообщенное имъ разъ положеніе или движеніе, когда цѣль, вызвавшая то или другое, уже перестала дѣйствовать, — упорство, продолжающееся даже въ случаѣ, если положеніе яблокъ ненормально, а продолжающееся движеніе совершенно не соотвѣтствуетъ новой цѣли, замѣнившей прежнюю. Примѣръ перваго рода мы видѣли выше, говоря о возможности такого положенія глазъ, при которомъ зрительная ось одного была параллельна горизонту, а ось другаго имѣла наклонное положеніе кверху или книзу. Когда это ненормальное положеніе разъ установилось, то по отнятіи призмы, оно продолжалось еще нѣкоторое время.

Примѣръ сохраненія глазомъ движеній знаетъ на себѣ вѣроятно всякій, ѣзжавшій по желѣзнымъ дорогамъ. Если при движеніи поѣзда слѣдить нѣкоторое время глазами за мелькающими мимо внѣшними предметами и потомъ уставить глаза въ полъ вагона, то онъ кажется движущимся въ направленіи поѣзда. Дѣло объясняется тѣмъ, что глаза, слѣдящіе за кажущимся движеніемъ внѣшнихъ предметовъ, двигаются въ направленіи обратномъ движенію поѣзда и сохраняютъ это движеніе въ то время, какъ смотрятъ на полъ; человѣкъ, не сознавая этого движенія, считаетъ глаза покойными, а между тѣмъ образъ пола передвигается по его сѣтчаткамъ, и онъ по необходимости долженъ заключать о движеніи пола. Совершенно тоже бываетъ при кажущемся вращательномъ движеніи предметовъ, когда человѣкъ долго

вертится съ открытыми глазами (съ закрытыми этого не бываетъ) на одномъ мѣстѣ и потомъ остановится *).

Факты эти показываютъ, что двигательный аппаратъ глазъ сравнительно быстро привыкаетъ къ навязанной ему дѣятельности и потомъ продолжаетъ ее уже самъ по себѣ. Но вѣдь въ такихъ свойствахъ и лежатъ обыкновенно задатки для заученія чего бы то ни было. По этому-то я и сказалъ, что описанная способность глаза играетъ вѣроятно большую роль въ дѣлѣ заученія имъ движеній.

Впрочемъ это свойство присуще и прочимъ рубчатымъ мышцамъ (конечно за исключеніемъ сердца) нашего тѣла, хотя, повидимому, не въ столь значительной степени, какъ мышцамъ глаза.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВИДѢНІЕ.

О пространственномъ видѣніи вообще.

§ 53. Теперь мы приступаемъ къ описанію условій происхожденія тѣхъ сторонъ зрительныхъ актовъ, которыми опредѣляются пространственныя отношенія видимыхъ предме-

*) Изъ того, что въ описанныхъ случаяхъ обманъ происходитъ отъ несознаванія человѣкомъ продолжающихся движеній глазъ, Герингъ выводитъ заключеніе, что онъ вообще не чувствуетъ ихъ и что, слѣдовательно, мышечнаго чувства нѣтъ. Не говоря уже о томъ, что самоощущенія при произвольномъ передвиженіи закрытыхъ глазъ говорятъ положительно противное, выводъ Геринга изъ вышеописанныхъ фактовъ поспѣшенъ: онъ не принялъ въ соображеніе, что уже при слѣженіи глазами за внѣшними предметами вниманіе наблюдателя поглощено послѣдними; слѣдовательно онъ не сознаетъ уже и тогда движеній глазныхъ яблокъ рядомъ съ болѣе рѣзкими ощущеніями; когда же глаза переносятся на полъ, весь психо-физіологическій актъ продолжается въ прежнемъ направленіи, только теперь полъ замѣняетъ внѣшніе предметы. Несознаваніе глазныхъ движеній во второмъ примѣрѣ объясняется тѣмъ, что ощущенія отъ нихъ затемняются болѣе рѣзкимъ чувствомъ головокруженія.

товъ,—ихъ направленіе, по отношенію къ нашему тѣлу, степень удаленія, величина, форма и проч. Хотя у взрослаго человѣка всѣ эти моменты даны при всякомъ конкретномъ зрительномъ актѣ непосредственно и, слѣдовательно, представляютъ столько же необходимую составную часть его, какъ ощущеніе цвѣта или степени освѣщенія предмета; однако уже способность наша выдѣлять изъ конкретныхъ зрительныхъ представленій одни пространственныя отношенія ручается за то, что условія происхожденія послѣднихъ должны быть совершенно самостоятельны.

Но такая же способность замѣчается и по отношенію къ нѣкоторымъ изъ пространственныхъ представленій въ отдѣльности. Такъ, представленія объ удаленіи предметовъ не имѣютъ ничего общаго съ представленіями объ ихъ формѣ; между послѣднею и величиною предмета тоже нѣтъ общихъ сторонъ. За то другія пространственныя представленія стоятъ въ очевидной связи между собою; напр., съ удаленіемъ видимыхъ предметовъ измѣняется, какъ всякій знаетъ, представленіе объ ихъ величинѣ; въ тѣлесную форму предмета всегда входитъ, какъ составная часть, плоскостная форма и т. д. На этомъ основаніи можно думать уже a priori, что условія развитія различныхъ сторонъ пространственныхъ представленій отличаются другъ отъ друга или качественно или количественно: одни вызываются, такъ сказать, простыми условіями, а другіе—сочетаніемъ ихъ.

Но въ чемъ же могутъ заключаться эти условія?

Двойственность общихъ условій развитія пространственныхъ представленій.

Имѣя въ виду ту непосредственность, съ какою появляются въ конкретныхъ зрительныхъ актахъ пространственныя представленія, условія ихъ происхожденія конечно всего естественнѣе было бы искать въ особенностяхъ механическаго устройства зрительнаго снаряда, и разумѣется на периферическомъ концѣ послѣдняго, такъ какъ о механическомъ устройствѣ зрительныхъ центровъ мы не имѣемъ до сихъ поръ ни малѣй-

шаго понятія. Но, съ другой стороны, руководясь опытомъ повседневной жизни, нельзя не признать, что въ развитіи пространственныхъ представленій, или по крайней мѣрѣ въ ясности ихъ, у человѣка большую роль играютъ психическіе моменты. Кто не знаетъ, въ самомъ дѣлѣ, что отъ частоты повторенія свѣтоваго впечатлѣнія въ одномъ и томъ же направленіи, усиливается ясность всѣхъ сторонъ зрительнаго представленія? На этой частотѣ основана вѣрность глазомѣра въ опредѣленіи разстояній и величины предметовъ, тонкость различенія слабыхъ оттѣнковъ въ цвѣтѣ или освѣщеніи предметовъ и проч. Съ другой стороны всякому извѣстно, что извращеніе одного изъ привычныхъ условій видѣнія даннаго предмета тотчасъ же ведетъ за собою рѣзкое измѣненіе въ характерѣ зрительнаго представленія. Такъ, краски и освѣщеніе пейзажа становятся ярче обыкновеннаго, если смотрѣть на него, наклонивъ голову книзу; походка человѣка, кажущаяся при обыкновенныхъ условіяхъ видѣнія стройнымъ движеніемъ, пріобрѣтаетъ очень уродливый характеръ, если на идущаго человѣка смотрѣть въ астрономическую трубку (при чемъ образъ его извращается) и проч. Все дѣло здѣсь въ томъ, что, по ученію психологіи, у взрослаго человѣка со всякимъ даннымъ реальнымъ зрительнымъ актомъ сливаются непосредственно, т. е. независимо отъ воли и разсуждающей способности, воспоминанія о прежнихъ однородныхъ актахъ и усиливаютъ тѣмъ эффектъ настоящаго; а съ другой стороны всякое данное зрительное ощущеніе ассоціируется, и тоже непосредственно, со всѣми существующими въ данный моментъ побочными ощущеніями. Въ этихъ обстоятельствахъ и лежатъ условія для выясненія содержимаго зрительныхъ ощущеній: послѣднія какъ бы провѣряются ощущеніями изъ другихъ сферъ чувствъ. Такъ напр., въ движеніяхъ тѣла и осязательныхъ ощущеніяхъ, сопутствующихъ зрительнымъ актамъ, очевидно лежатъ условія для провѣрки видимаго

удаленія предметовъ, тѣлесности ихъ формы и проч. Это суть уже продукты опыта — результаты психическаго анализа.

Такимъ образомъ оказывается, что пространственныя представленія взрослаго человѣка, по скольку они являются въ его конкретныхъ зрительныхъ актахъ непосредственно, могутъ считаться съ одинаковымъ правомъ и продуктами матеріальной организаціи органа и результатами психическихъ дѣятельностей *). А съ другой стороны, изъ сказаннаго становится очевиднымъ, что механическіе моменты, играющіе роль въ развитіи пространственныхъ представленій, могутъ быть отъискиваемы какъ въ особенностяхъ организаціи самаго зрительнаго аппарата, такъ и въ устройствѣ снарядовъ, совершенно отдѣльныхъ отъ него. Во всякомъ же случаѣ, первою нашею задачею становится пріисканіе общихъ пріемовъ выдѣлять изъ пространственныхъ представленій взрослаго человѣка часть, приходящуюся на долю психическихъ дѣятельностей (т. е. привычки или упражненія, изученія или опыта), и то, что опредѣляется механическими моментами.

Для правильнаго рѣшенія этаго, повидимому чисто практическаго вопроса, я считаю необходимымъ выяснить его теоретическія основы. Несоблюденіе этого правила въ данномъ случаѣ можетъ привести, какъ показываютъ примѣры, къ большимъ заблужденіямъ.

---

*) Гельмгольтцъ (Physiol. Opt., стр. 430) характеризуетъ послѣднія слѣдующимъ образомъ: «психическія дѣятельности, посредствомъ которыхъ мы приходимъ къ представленію о положеніи внѣ насъ и на опредѣленномъ мѣстѣ даннаго предмета со всѣми его свойствами, суть вообще не сознательныя дѣятельности. По своему результату онѣ подобны заключенію, такъ какъ изъ дѣйствія на наши чувства мы пріобрѣтаемъ представленіе о причинѣ этого дѣйствія; а между тѣмъ, на самомъ дѣлѣ, мы можемъ ощущать только нервное возбужденіе, т. е. дѣйствіе, а никакъ не внѣшніе предметы». Поэтому онъ предлагаетъ для этихъ психическихъ дѣятельностей названіе «безсознательныхъ заключеній».

Роль механическихъ и психическихъ моментовъ въ развитіи пространственныхъ представленій.

И физiологи и психологи согласны между собою въ томъ, что нужно разумѣть подъ словомъ ощущеніе. Это есть чистый, непосредственный эффектъ возбужденія котораго-нибудь изъ органовъ чувствъ внѣшними или внутренними раздражителями; и конечно сущность дѣла не измѣняется, вызываетъ ли данное раздраженіе къ дѣятельности только одну какую нибудь сторону даннаго чувствующаго снаряда, или всѣ разомъ — отъ этого можетъ зависѣть только простота или сложность ощущенія.

Всѣ согласны далѣе въ томъ, что отъ повторенія раздраженія органа чувствъ абсолютно въ одномъ и томъ же направленіи усиливаются тѣ именно стороны сложнаго ощущенія, которыхъ субстраты подвергаются повторному возбужденію.

Понятно наконецъ, что повтореніе раздраженій при мѣняющихся условіяхъ возбужденія, какъ со стороны самаго раздражителя, такъ и раздражаемаго органа, возводитъ ощущеніе на степень **представленія** объ источникѣ раздраженія (т. е. ведетъ къ отдѣленію послѣдняго отъ собственнаго я и къ перцепціи свойствъ раздражителя). И здѣсь встрѣчаются опять случаи большей или меньшей сложности (по содержанію) психическаго акта: выясненіе дискретныхъ ощущеній въ отдѣльности даетъ представленіе объ отдѣльныхъ свойствахъ возбуждающаго органъ предмета, а совмѣстное выясненіе ихъ — представленіе о немъ, какъ о цѣломъ. Но, конечно, путь развитія представленій изъ ощущеній остается одинаковъ какъ для простаго, такъ и для сложнаго случая. Въ этомъ смыслѣ конкретное зрительное представленіе взрослаго человѣка представляетъ всегда сочетаніе чисто свѣтовыхъ *) и простран-

*) Нѣкоторые изслѣдователи, напр. Оберъ, полагаютъ, что чисто свѣтовые моменты въ зрительныхъ представленіяхъ взрослаго человѣка остаются, въ противуположность пространственнымъ, на степени ощущеній; но это положительно несправедливо: свѣтовыя влiянія, выходя-

ственныхъ представленій. Но отсюда очевидно слѣдуетъ, что у человѣка должны существовать пространственныя ощущенія, потому что опытная психологія не допускаетъ инаго способа развитія представленій, какъ изъ этой первоначальной формы чувствованія. И такъ какъ сверхъ того ощущенія, въ смыслѣ приведеннаго выше опредѣленія, могутъ быть продуктами только матеріальной организаціи органа, то, допустивъ разъ существованіе пространственныхъ ощущеній, необходимо принять вмѣстѣ съ тѣмъ, что они столько же прирожденныя человѣку, какъ ощущеніе свѣта вообще.

Черезъ это и открывается возможность теоретическаго рѣшенія нашего вопроса о различіи ролей механическихъ и психическихъ моментовъ въ дѣлѣ развитія пространственныхъ представленій:

Механическіе моменты представляютъ условія для развитія пространственныхъ ощущеній, а психическіе — условія для выясненія послѣднихъ и возведенія ихъ на степень представленій. Первые своею дѣятельностью доставляютъ какъ бы грубый матеріалъ, а послѣдніе приводятъ его въ опредѣленный порядокъ.

щія изъ внѣшнихъ источниковъ свѣта, видоизмѣняются отъ одного случая къ другому совершенно независимо отъ прочихъ свойствъ этихъ источниковъ—свѣтъ льется то равномѣрно, то мерцая, одинъ разъ постепенно усиливается или ослабѣваетъ, другой разъ періодически прерывается и проч.;—все эго измѣненія условій раздраженія, и слѣдовательно условіе для того, чтобы возвести чисто свѣтовыя ощущенія на степень представленій. Съ другой стороны, происхожденіе опровергаемаго нами воззрѣнія легко объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что полнота и опредѣленность представленій идетъ всегда рука объ руку съ измѣнчивостью производящихъ ихъ условій раздраженія; условія же эти для чисто свѣтовыхъ вліяній несравненно менѣе разнообразны, чѣмъ для пространственныхъ (напр. для формы предметовъ). Оттого и выходитъ, что въ содержимомъ конкретныхъ зрительныхъ представленій чисто свѣтовые моменты представляютъ болѣе неподвижную часть, чѣмъ пространственныя.

Послѣ этаго неизбѣжнаго теоретическаго отступленія, я обращаюсь къ практической сторонѣ нашего вопроса, т. е. къ указанію общихъ практическихъ пріемовъ отдѣлять другъ отъ друга (съ цѣлью изученія) продукты механическихъ условій и результаты психическихъ дѣятельностей.

Способы анализа зрительныхъ представленій.

Въ этомъ отношеніи на первомъ планѣ стоятъ наблюденія надъ людьми, бывшими до зрѣлаго возраста слѣпыми и получившими зрѣніе вслѣдствіе операціи. Сдѣлавшись зрячими, такіе люди относятся въ первые дни къ свѣтовымъ вліяніямъ какъ дѣти, но могутъ отдавать отчетъ въ ощущеніяхъ и себѣ и другимъ. При этомъ слѣдуетъ однако принимать во вниманіе, была ли слѣпота до операціи полная, или она позволяла отличать сильный свѣтъ отъ тьмы, или наконецъ слѣпой могъ, какъ говорится, различать очень свѣтлые предметы, т. е. узнавать глазами не только существованіе ихъ внѣ себя, но и опредѣлять положеніе ихъ въ пространствѣ. Такіе субъекты уже передъ операціей выучиваются объективировать въ надлежащемъ направленіи свѣтовыя впечатлѣнія, и потому ихъ ощущенія конечно не могутъ служить объектами для изученія способовъ происхожденія различныхъ сторонъ пространственныхъ представленій. Вообще, чѣмъ слѣпота до операціи была полнѣе, тѣмъ болѣе значенія имѣютъ показанія такихъ людей. На этомъ основаніи лица съ врожденными заращеніями зрачковъ болѣе напр. пригодны, чѣмъ тѣ, которыя родились съ катарractами. Въ помощь этимъ наблюденіямъ могутъ служить наблюденія надъ дѣтьми. Сюда же относится совершенно вѣрное практическое правило, установленное Гельмгольтцомъ для выдѣленія изъ конкретныхъ зрительныхъ представленій взрослаго человѣка продуктовъ психическихъ дѣятельностей, или какъ онъ говоритъ, продуктовъ опыта. Основа его правила формулирована слѣдующимъ образомъ: „ничто въ нашихъ представленіяхъ не можетъ быть признано ощуще-

віемъ (т. е. продуктомъ матеріальной организаціи), что можетъ быть изъ нихъ изглажено, или даже извращено, моментами, вытекшими очевидно изъ опыта. Мысль эта непреложна, потому что она вытекаетъ изъ непреложнаго закона зависимости всякаго явленія отъ производящихъ его причинъ. Когда при опытахъ надъ дѣятельностью чувствующаго снаряда нисколько не измѣняется его матеріальная организація, изъ явленій нельзя исключить и продуктовъ этого устройства; но, ставя органъ во внѣшнія условія отличныя отъ тѣхъ, при которыхъ онъ привыкъ дѣйствовать, мы очевидно измѣняемъ условія заученной дѣятельности, и тогда изъ явленія должны выпадать продукты этого заученія.

Практическое примѣненіе только-что развитаго правила къ частнымъ случаямъ служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ единственнымъ средствомъ къ опредѣленію тѣхъ механическихъ моментовъ пространственнаго видѣнія, которыхъ субстраты лежатъ внѣ зрительнаго органа, понимаемаго въ тѣсномъ смыслѣ слова. Моментовъ этихъ можетъ быть конечно чрезвычайно много, если имѣть въ виду законъ ассоціаціи всякаго давнаго реальнаго ощущенія со всѣми одновременными и послѣдующими разнородными; но между послѣдними должны быть разумѣется и такія, которыя повторяются при зрительныхъ актахъ чаще всѣхъ прочихъ; и конечно такіе спутники должны играть въ зрительныхъ представленіяхъ болѣе видную роль, чѣмъ всѣ остальные. Собственно они и составляютъ обычныя внѣшнія условія пространственнаго видѣнія.

Но въ чемъ же могутъ заключаться эти условія съ ихъ матеріальными субстратами?

Вопросъ этотъ рѣшается съ положительностью только опытнымъ путемъ; но предъугадывать рѣшеніе его можно и прямо, разсмотрѣніемъ тѣхъ внѣшнихъ моментовъ, которые чаще другихъ сопровождаютъ зрительные акты.

Общая роль глазныхъ мышцъ въ дѣлѣ развитія пространственныхъ представленій.

Единственными неизбѣжными спутниками послѣднихъ бываютъ только мышечныя движенія, и преимущественно въ сферѣ приспособляющаго снаряда и въ мышцахъ, двигающихъ глазнымъ яблокомъ и головою. Дѣятельностью этихъ органовъ, въ связи со всѣми остальными мышцами костнаго скелета, опредѣляются въ каждомъ частномъ случаѣ положеніе и передвиженія зрительнаго снаряда относительно прочихъ частей тѣла, а вмѣстѣ съ тѣмъ и относительно внѣшнихъ предметовъ.

Въ этомъ обстоятельствѣ конечно лежатъ условія измѣнчивости зрительнаго снаряда (раздражаемаго органа) по отношенію къ повторяющемуся внѣшнему (свѣтовому) раздраженію; и въ этомъ смыслѣ можно думать, что у человѣка мышечныя движенія глаза и головы принимаютъ участіе въ актѣ превращенія зрительныхъ ощущеній въ зрительныя представленія; но вѣдь послѣдніе процессы относятся — по нашему же опредѣленію — въ область психическихъ актовъ, а эффекты мышечной дѣятельности, суть акты чисто механическіе; — какимъ же образомъ мышечное движеніе можетъ входить, какъ составная часть, въ содержимое психическихъ процессовъ?

Единственный возможный отвѣтъ на этотъ вопросъ заключается въ мысли, что оно входитъ туда не какъ движеніе, а какъ сопутствующія послѣднему ощущенія. Только при этомъ условіи мышечная дѣятельность становится способною къ ассоціаціи съ чисто зрительными ощущеніями и, развиваясь путемъ упражненія, дѣлается могучимъ орудіемъ въ дѣлѣ развитія пространственныхъ представленій. Для поясненія сказаннаго могутъ служить два параллельные примѣра. Человѣкъ, закрывши глаза и поднявши въ какомъ нибудь направленіи руку, всегда можетъ приблизительно вѣрно опредѣлить положеніе этой руки относительно своего тѣла, т. е. насколько она поднята

выше головы, насколько согнута, въ какомъ направленіи лежитъ ея указательный палецъ и пр. При открытыхъ глазахъ онъ руководится въ этихъ опредѣленіяхъ обыкновенно зрительными представленіями; но теперь глаза закрыты, и слѣдовательно указателями могутъ быть только ощущенія, сопровождающія данное положеніе руки. Откуда же взяться этимъ ощущеніямъ? — Конечно только изъ напряженнаго состоянія мышцъ или кожи *). Болѣзненныя явленія на атактикахъ показываютъ (см. мою физіол. нервн. сист. стр. 240—245), что движеніе мышцъ и вообще всѣ измѣненія въ положеніи ихъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ измѣненія и въ положеніи двигаемыхъ членовъ, регулируются скорѣе мышечными, чѣмъ кожными ощущеніями. Поэтому большинство современныхъ физіологовъ объясняетъ примѣры, подобные нашему, существованіемъ упражненнаго мышечнаго ощущенія. Видоизмѣняясь параллельно степени и сложности мышечныхъ движеній, оно конечно можетъ служить для сознанія указа-

*) Нѣкоторые изслѣдователи думаютъ, что чувствительнымъ моментомъ является здѣсь опредѣленная степень волеваго усилія, держащаго мышцы въ сокращеніи. Но для этого пришлось бы допустить, что самый актъ вліянія воли на двигательные центры сопровождается ощущеніями; а подобная гипотеза конечно смѣлѣе предположенія о существованіи мышечнаго чувства, потому что она создастъ совершенно особый классъ ощущеній, не эксцентрическаго происхожденія, какъ всѣ остальныя, а центральнаго. Кромѣ того я самъ видѣлъ атактика, который положительно противорѣчитъ разбираемой теоріи: онъ сохранялъ способность иннервировать произвольно мышцы своей руки и бралъ въ нее всякую вещь, но не зналъ мѣры мышечному сокращенію и притомъ не могъ держать вещь въ рукѣ, закрывши глаза.—она выпадала тогда сама собою. Съ точки зрѣнія потери мышечнаго чувства, какъ руководителя движеній, эти явленія объясняются чрезвычайно легко, а съ точки зрѣнія разбираемой теоріи они совершенно необъяснимы: если допустить, что атактикъ можетъ произвесть волевое двигательное усиліе безъ посредства сопровождающихъ его ощущеній, то почему онъ не можетъ и продолжать этаго усилія? Заставьте наоборотъ такого атактика открыть глаза, и онъ будетъ держать вещь въ рукѣ — эксцентрическое зрительное чувство становится тогда руководителемъ двигательной иннерваціи.

телемъ нсякаго положенія руки, производимаго мышечнымъ сокращеніемъ. Совершенно аналогичное явленіе можно наблюдать и на глазѣ. Стоитъ только развить нъ немъ свѣтовой слѣдъ и двигать глазное яблоко въ совершенной темнотѣ въ различныхъ направленіяхъ (при чемъ, какъ сказано было выше, перемѣщается и слѣдъ параллельно движеніямъ яблока).—Каждое новое положеніе слѣда въ полѣ зрѣнія можетъ быть приблизительно вѣрно опредѣлено человѣкомъ относительно частей своего тѣла (т. е. насколько слѣдъ этотъ выше головы, насколько онъ лежитъ вправо или влѣво отъ срединной плоскости тѣла и пр.); а между тѣмъ единственнымъ руководителемъ такого опредѣленія можетъ быть только сознаваемое положеніе своего глаза, производимое мышечнымъ сокращеніемъ. И здѣсь слѣдовательно мышечная дѣятельность должна давать знать о себѣ сознанію въ формѣ ощущенія.

Очень вѣроятно, что при движеніяхъ глазнаго яблока къ мышечнымъ ощущеніямъ въ тѣсномъ смыслѣ слова присоединяются еще и осязательныя, вызываемыя треніемъ другъ объ друга чувствующихъ поверхностей глазнаго яблока и вѣкъ, но дѣло отъ этого нисколько не измѣняется; а потому весь комплексъ ощущеній, сопровождающихъ мышечныя движенія при зрительныхъ актахъ, мы будемъ продолжать называть, по примѣру большинства современныхъ физіологовъ, мышечнымъ чувствомъ.

И такъ, обычнымъ и главнымъ внѣшнимъ условіемъ пространственнаго видѣнія предметовъ является упражненное мышечное чувство, или, правильнѣе, ассоціація его съ чисто свѣтовыми ощущеніями.

Изъ этого не слѣдуетъ однако выводить заключенія, что непосредственное присоединеніе мышечнаго чувства къ чисто свѣтовому ощущенію способно придавать послѣднему пространственный характеръ.—Мышечное чувство есть ощуще-

ніе чисто субъективное, пространственныя же стороны зрительныхъ представленій имѣютъ наоборотъ чисто объективный характеръ. Въ объективированіи свѣтовыхъ впечатлѣній мышечное чувство принимаетъ участіе лишь какъ одинъ изъ главныхъ элементовъ самоощущенія, служащаго основою для отдѣленія своего я отъ внѣшняго міра. По мѣрѣ упражненія мышечнаго чувства выясняются самоощущенія по отношенію къ внѣшнимъ предметамъ (или, строго говоря, къ ощущеніямъ съ объективнымъ характеромъ), т. е. отношеніе къ послѣднимъ нашего я.

Такова въ общихъ чертахъ роль главнѣйшихъ внѣшнихъ механическихъ моментовъ въ дѣлѣ пространственнаго видѣнія.

Что же касается до роли тѣхъ, которые даны организаціей самаго зрительнаго снаряда, то общаго сказать объ нихъ ничего невозможно; — развѣ то, что роли эти опредѣляются путемъ исключенія.

Заручившись этими общими данными, мы можемъ уже приступить къ частному описанію занимающихъ насъ явленій. Съ этой цѣлью удобнѣе всего будетъ поступить слѣдующимъ образомъ: рѣшить прежде всего, путемъ примѣненія вышеизложенныхъ практическихъ правилъ, каковъ долженъ быть первоначальный пространственный характеръ зрительныхъ ощущеній у человѣка, и въ чемъ заключаются врожденныя условія первоначальнаго пространственнаго видѣнія; а затѣмъ опредѣлить внѣшніе моменты, служащіе для развитія или совершенствованія каждой изъ сторонъ пространственныхъ представленій въ отдѣльности.

§ 54. По первому изъ этихъ вопросовъ самыя важныя указанія содержатся въ наблюденіяхъ надъ слѣпорожденными, прозрѣвшими въ зрѣломъ возрастѣ. Всѣ такіе люди, *Первоначальное пространственное видѣніе человѣка.*

и даже тѣ изъ нихъ, которые до возвращенія зрѣнія могли отличать только сильный свѣтъ отъ тьмы (напр. случай Уардропа), способны при первыхъ же зрительныхъ встрѣчахъ съ міромъ отличать другъ отъ друга различно освѣщенныя или различно окрашенныя части своего поля зрѣнія. Больная Уардропа въ первый же день послѣ операціи умѣла отличить на часовомъ циферблатѣ стрѣлки и цифры отъ бѣлаго поля; а на третій день отличила черезъ улицу красную дверь противуположнаго дома и доказала движеніемъ руки, что видитъ на лицѣ своего брата его носъ; когда же братъ накрылъ себѣ голову платкомъ, она тотчасъ узнала хитрость.

Да и можно ли сомнѣваться въ этой способности глаза съ той минуты, какъ выше было доказано значеніе колбочекъ въ дѣлѣ точечной перцепціи свѣтовыхъ образовъ. Видѣніе формы и положенія предметовъ сдѣлалось бы для взрослаго человѣка абсолютною невозможностью, если допустить, что два отдѣльныя по качеству и мѣсту возбужденія сѣтчатки могутъ не быть ощущаемы различно, т. е. отдѣльно другъ отъ друга. Новорожденный ребенокъ отличается конечно отъ прозрѣвшаго взрослаго слѣпорожденнаго въ томъ отношеніи, что онъ не можетъ давать себѣ отчета въ различіи одновременныхъ ощущеній, потому что подобные акты суть продукты уже значительнаго психическаго развитія, но реальныя-то основы для различенія должны быть конечно присущи и новорожденному младенцу.

Тѣ же самыя наблюденія надъ прозрѣвшими слѣпорожденными показываютъ далѣе, что они съ первыхъ же поръ локализируютъ объекты, наполняющіе ихъ поле зрѣнія, приблизительно въ томъ же, но совершенно извращенномъ, порядкѣ, въ какомъ лежатъ другъ относительно друга образы этихъ объектовъ на сѣтчаткѣ.—Другими словами, двумъ касающимся или раздѣльнымъ образамъ на послѣдней — бу-

дуть ли это двѣ точки, или двѣ группы точекъ, все равно,— должны соотвѣтствовать два касающихся или раздѣльныхъ предмета въ пространствѣ; по правому или верхнему образу будетъ соотвѣтствовать лѣвый или нижній предметъ и наоборотъ *). Иначе нельзя было бы понять въ самомъ дѣлѣ той быстроты, съ которой больная Уардропа выучилась (уже на третій день) опредѣлять движеніемъ руки направленіе видимыхъ ею предметовъ (дверь противуположнаго дома и носъ на лицѣ своего брата); а съ другой стороны нельзя было бы объяснить себѣ того обстоятельства, почему у прозрѣвшихъ слѣпорожденныхъ никогда не было подмѣчено ни единаго факта, который заставилъ бы подумать, что они видятъ предметы въ извращенномъ видѣ. При этомъ необходима впрочемъ слѣдующая оговорка: поскольку факты **прямаго видѣнія** относятся въ область представленій о положеніи внѣшнихъ предметовъ вообще, они не могутъ не осложняться у взрослаго человѣка продуктами опыта: —въ представ-

*) Въ былыя времена вопросъ о томъ, почему мы видимъ предметы внѣшняго міра прямо, когда ихъ образы на сѣтчаткѣ имѣютъ извращенное положеніе, сильно занималъ физіологовъ. Съ этой цѣлью придумано было много объясненій; но ни одно изъ нихъ не достигало цѣли: глазъ уже при первыхъ встрѣчахъ съ внѣшнимъ міромъ видитъ не образы на своей сѣтчаткѣ, а причины, произведшія эти образы; слѣдовательно вопросъ о механизмѣ прямаго видѣнія составляетъ лишь часть неразрѣшимаго до сихъ поръ вопроса о прожденномъ объективированіи свѣтовыхъ впечатлѣній вообще. Нѣкоторые изслѣдователи считаютъ въ настоящее время вопросъ о причинахъ прямаго видѣнія даже празднымъ, говоря, что при зрительныхъ актахъ человѣкъ вообще лишенъ сознанія положенія частей своей сѣтчатки, которое, по ихъ мнѣнію, должно было бы служить исходной точкой для извращенія впечатлѣнія; но эта мысль очевидно несправедлива: вѣдь въ основѣ всякаго форменнаго ощущенія все-таки лежитъ опредѣленная форма раздраженія сѣтчатки и форма эта **всегда** характеризуется тѣмъ, что раздражаемыя точки имѣютъ извращенное положеніе относительно раздражающихъ; слѣдовательно между образомъ на сѣтчаткѣ, хотя онъ и не ощущается, и **видимымъ** предметомъ все-таки существуетъ **реальное отношеніе**.

ленія о положеніи внѣшнихъ предметовъ входитъ, какъ необходимый элементъ, сознаніе положенія своего тѣла. Поэтому-то, если взрослый человѣкъ станетъ на голову, ногами кверху, то окружающіе предметы не будутъ казаться ему извращенными, хотя образы отъ нихъ на сѣтчаткѣ будутъ извращены противъ нормы; если же человѣкъ, стоя на ногахъ, будетъ смотрѣть на окружающіе предметы въ астрономическую трубку, то теперь, при такомъ же извращеніи образовъ на сѣтчаткѣ, какъ и въ первомъ случаѣ, внѣшніе предметы кажутся извращенными. Въ первомъ случаѣ ко всѣмъ зрительнымъ актамъ присоединяется чрезвычайно рѣзко сознаваемое извращеніе положенія своего тѣла, и это мѣшаетъ извращенію предметовъ въ представленіи, не смотря на то, что оно, собственно говоря существуетъ (ноги близь стоящаго человѣка кажутся тому, который стоитъ вверхъ ногами, въ уровень съ его головою, а голова наоборотъ); во второмъ же случаѣ всѣ побочныя условія нормальнаго видѣнія сохранены вполнѣ, измѣнено только главное—положеніе образа на сѣтчаткѣ — и извращеніе непреодолимо.

И здѣсь конечно не можетъ быть рѣчи объ томъ, чтобы ребенокъ сознавалъ, который изъ предметовъ, наполняющихъ его поле зрѣнія, лежитъ правѣе, который вверху и который внизу—это суть продукты опыта—дѣло идетъ только о первоначальной разницѣ, которая должна существовать между каждою парою, качественно хотя бы и однородныхъ, но различныхъ по топографическому положенію, свѣтовыхъ впечатлѣній на сѣтчаткѣ. Чѣмъ однако обусловливается эта разница, т. е. почему точки, которыхъ образы падаютъ на различныя мѣста сѣтчатки, должны локализироваться именно въ томъ, а не другомъ порядкѣ, рѣшить въ настоящее время невозможно.

Какъ бы то ни было, но разъ признавши за глазомъ новорожденнаго способность локализировать ощущенія въ оп-

редѣленномъ порядкѣ, слѣдуетъ признать вмѣстѣ съ тѣмъ, что въ ощущеніяхъ новорожденнаго кроются уже элементы для опредѣленія формы и направленія предметовъ. Про нѣкоторыхъ изъ прозрѣвшихъ слѣпорожденныхъ разсказываютъ, будто они на первыхъ же порахъ обладали способностью даже узнавать глазами, хотя и съ трудомъ, нѣкоторыя простыя формы, напр. треугольникъ, кругъ и пр.; нужно однако замѣтить, что въ этихъ случаяхъ уже до операціи существовала способность локализировать сильныя свѣтовыя впечатлѣнія. За то всѣ согласны между собою въ томъ, что изученіе различныхъ формъ идетъ у такихъ людей чрезвычайно быстро; а это было бы конечно невозможно, если бы съ самаго начала различнымъ формамъ не соотвѣтствовали различныя и вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣленныя по формѣ ощущенія. Послѣднее заключеніе логически вытекаетъ изъ того, что и у ребенка внѣшніе предметы даютъ опредѣленные образы на мозаичной поверхности сѣтчатки, элементы которой имѣютъ ту же функцію, что и у взрослаго — воспринимать падающіе на нихъ пучки лучей изолированно отъ сосѣдей.

Неподлежитъ также сомнѣнію, что въ первичныхъ ощущеніяхъ заключены элементы и для различенія величины предметовъ, поскольку послѣдняя должна стоять въ связи съ величиною образа на сѣтчаткѣ, т. е. съ большимъ или меньшимъ числомъ возбужденныхъ зрительныхъ единицъ. Иначе я не могу объяснить слѣдующаго факта, замѣченнаго мною на себѣ и на другихъ.—Если пристально смотрѣть однимъ глазомъ на какое нибудь слово по срединѣ печатной страницы, то ближайшія слова сосѣдней верхней и нижней строчки, равно какъ тѣ, которыя лежатъ направо и налѣво отъ фиксируемаго, кажутся напечатанными болѣе мелкимъ шрифтомъ. Гельмгольтцъ говоритъ, что вертикально стоящіе предметы, рисующіеся на боковыхъ частяхъ сѣтчат-

ки, кажутся обыкновенно съуженными въ ширину, но за то удлиненными въ вертикальномъ направленіи. Я тоже вижу это, если предметы стоятъ значительно въ сторонѣ отъ оси зрѣнія; но при этомъ лучи свѣта проходятъ черезъ хрусталикъ очень косо, и потому возможно, что причиной кажущагося удлинненія и съуженія предметовъ бываетъ соотвѣтствующее измѣненіе образа на сѣтчаткѣ. Замѣчательно, что прозрѣвшимъ слѣпорожденнымъ на первыхъ порахъ всѣ предметы кажутся очень большими. Это зависитъ можетъ быть оттого, что глазъ способенъ видѣть разомъ сравнительно большіе предметы, значительно превышающіе величину ладонной поверхности, которая служила до того главнѣйшимъ орудіемъ при распознаваніи формы и величины предметовъ.

Что касается наконецъ до того, представляются ли новорожденному внѣшніе предметы лежащими внѣ его, т. е. способенъ ли онъ ощущать удаленіе предметовъ, то въ этомъ отношеніи показанія слѣпорожденныхъ, прозрѣвшихъ въ зрѣломъ возрастѣ, чрезвычайно поучительны. Всѣ они при первыхъ зрительныхъ встрѣчахъ съ міромъ не ощущаютъ различія въ удаленіи окружающихъ ихъ предметовъ и видятъ послѣдніе какъ бы касающимися ихъ глазъ (наприм. случай Чезельдена), такъ что многіе изъ нихъ невольно боятся ушибиться объ эти предметы (напр. случай Франца). Если принять во вниманіе, что всѣ такія лица уже до операціи пріобрѣли путемъ осязательнаго чувства полнѣйшее убѣжденіе въ объективности внѣшняго міра, и что этотъ продуктъ опыта неизбѣжно долженъ ассоціироваться у нихъ съ каждымъ даннымъ зрительнымъ актомъ, то, въ виду приведенныхъ фактовъ, едва ли можно сомнѣваться въ томъ, что новорожденному не могутъ представляться внѣшніе предметы лежащими внѣ его.

Такимъ образомъ я совершенно раздѣляю мнѣніе Фолькманна, принимающаго, что у человѣка первичное поле зрѣ-

нія должно имѣть форму плоскости, еще не отдѣлившейся отъ тѣла, но уже представляющей болѣе или менѣе близкій отпечатокъ, только въ извращенномъ видѣ, соотвѣтствующаго образа на сѣтчаткѣ. Въ этомъ полѣ должна уже быть сверхъ того разница между частными ощущеніями, производимыми возбужденіемъ желтаго пятна съ его углубленіемъ, и тѣми, которыя вызываются дѣйствіемъ свѣта на периферическія части сѣтчатки; — иначе пришлось бы допустить, что у новорожденнаго желтое пятно имѣетъ другое значеніе, чѣмъ у взрослаго.

Такова сумма пространственныхъ ощущеній у человѣка.

Теперь мы перейдемъ къ изученію условій развитія ихъ въ пространственныя представленія.

§ 55. Положеніе окружающихъ насъ предметовъ мы обыкновенно опредѣляемъ изъ направленія, въ какомъ они лежатъ по отношенію къ нашему тѣлу и изъ удаленія ихъ отъ послѣдняго. Въ этомъ смыслѣ мы говоримъ, что такой-то предметъ лежитъ, на большемъ или меньшемъ разстояніи, прямо передъ нами, выше или ниже головы, вправо или влѣво отъ насъ и пр. Оба момента даны у взрослаго человѣка всегда вмѣстѣ, но по условіямъ своего развитія они не всегда совпадаютъ другъ съ другомъ, поэтому теперь мы опишемъ только развитіе способности опредѣлять направленіе, въ какомъ видятся предметы. Направленіе, въ которомъ видятся предметы.

Такъ какъ исходною точкою всѣхъ такихъ опредѣленій служитъ положеніе нашего тѣла въ пространствѣ, то цѣлая половина ихъ должна состоять очевидно изъ самоощущеній, опредѣляющихъ это положеніе. Сюда относятся конечно и зрительныя и осязательныя и мышечныя ощущенія, получаемыя человѣкомъ отъ своего тѣла, при измѣненіяхъ его положенія. Съ другой стороны понятно, что при сознаваемомъ неподвижномъ положеніи туловища, всякое движеніе одной головы, или однихъ глазъ, или головы и глазъ вмѣстѣ, съ

цѣлью видѣть ясно одинъ за другимъ всѣ предметы, наполняющіе поле зрѣнія, можетъ служить условіемъ для различенія направленія этихъ предметовъ по отношенію къ нашему тѣлу.—Ясному видѣнію каждаго изъ нихъ въ отдѣльности будетъ въ самомъ дѣлѣ соотвѣтствовать лишь опредѣленное сочетаніе сокращенныхъ мышцъ, и слѣдовательно опредѣленная величина мышечнаго чувства. Послѣднее-то и можетъ служить руководствомъ къ опредѣленію направленія; но для этого нужно конечно, чтобы человѣкъ привыкъ отличать другъ отъ друга малѣйшія измѣненія въ положеніи своей головы и глазъ; а это можетъ быть достигнуто лишь путемъ долгаго упражненія мышечнаго чувства, притомъ подъ условіемъ, если за исходную точку такого изученія принято одно постоянное положеніе туловища, головы и глазъ.

Послѣднее условіе существуетъ въ дѣйствительности.

Исходное, или по крайней мѣрѣ главное, положеніе тѣла, при разсматриваніи окружающихъ предметовъ, бываетъ всегда одно: это есть положеніе, при которомъ человѣкъ смотритъ, какъ говорится, прямо передъ собою. И это происходитъ по той простой причинѣ, что во всей дѣятельности человѣка названное положеніе есть наиболѣе непринужденное и слѣдовательно наиболѣе частое.

Въ этомъ положеніи, большему или меньшему, но равному съ обѣихъ сторонъ, сведенію зрительныхъ осей кнутри будутъ соотвѣтствовать положенія видимыхъ предметовъ въ направленіи срединной плоскости тѣла. А присоединяющемуся сюда движенію головы въ отвѣсной плоскости, или, при неподвижности ея, движенію въ той же плоскости точки пересѣченія зрительныхъ осей, или наконецъ одновременному движенію головы и осей, будутъ соотвѣтствовать положенія предметовъ выше или ниже головы смотрящаго человѣка. Поворачиванію головы направо, или опредѣленному отклоненію зрительной оси праваго глаза наружу, а лѣваго кнутри, бу-

дутъ соотвѣтствовать положенія предметовъ вправо отъ срединной плоскости тѣла и пр.

Вдумавшись въ сказанное, читатель конечно согласится, что въ приведенныхъ моментахъ дѣйствительно могутъ заключаться условія для видѣнія предметовъ въ различныхъ направленіяхъ.

Убѣдиться въ этомъ можно однако и путемъ положительныхъ опытовъ, примѣняя къ нашимъ случаямъ правило Гельмгольтца съ извращеніемъ привычныхъ условій видѣнія.

Всякій знаетъ конечно, что неподвижные внѣшніе предметы кажутся намъ неподвижными даже при условіи, если мы двигаемъ передъ ними глазами; а съ другой стороны извѣстно, что съ свѣтовыми слѣдами при движеніяхъ глаза бываетъ совершенно обратное, т. е. что они тогда перемѣщаются въ направленіи движенія. И то и другое совершенно извращается, если мы будемъ двигать глазъ механически, безъ посредства мышечной силы, — если возьмемъ напримѣръ пальцами въ складку оба вѣка около наружнаго края котораго нибудь изъ глазъ и будемъ натягивать эту складку: тогда неподвижные внѣшніе предметы приходятъ въ движеніе, а свѣтовые слѣды остаются наоборотъ неподвижными. Оба факта, взятые вмѣстѣ, очевидно указываютъ, что по отношенію къ зрительнымъ представленіямъ эффекты чисто механическаго и мышечнаго перемѣщенія глаза различны между собою.

Нетрудно убѣдиться далѣе, что сознаваемому истинному передвиженію разсматриваемыхъ предметовъ всегда соотвѣтствуетъ тождественное по направленію перемѣщеніе зрительной оси (при движеніи разсматриваемыхъ предметовъ вправо, вправо же перемѣщается зрительная ось); при описанномъ же механическомъ перемѣщеніи яблока всегда бываетъ обратное *).

*) Послѣдній обманъ происходитъ оттого, что во время натягиванія вѣкъ ничто не говоритъ сознанію о перемѣщеніяхъ глазнаго яблока

Не явно ли послѣ этого, что направленіе движенія, а вмѣстѣ съ тѣмъ конечно и направленіе предметовъ вообще, познаются изъ дѣятельности мышцъ, вращающихъ глазное яблоко.

Вслѣдствіе безчисленнаго повторенія описанныхъ физіолого-психическихъ процессовъ человѣкъ до такой степени пріучается къ комплексу явленій, сопровождающихъ передвиженіе его глазъ, что внезапное разстройство глазнаго двигательнаго снаряда бываетъ причиною очень замѣчательныхъ ложныхъ представленій. Такъ, если при внезапномъ параличѣ которой нибудь изъ прямыхъ мышцъ глазнаго яблока, напр. хоть правой наружной, человѣкъ сдѣлаетъ усиліе повернуть правый глазъ наружу, то, несмотря на совершенную неподвижность органа, ему кажется тогда, что предметы передвигаются при этомъ усиліи воли вправо. Дѣло объясняется тѣмъ, что по привычкѣ за усиліемъ воли человѣкъ предполагаетъ и движеніе, но такъ какъ образы предметовъ несмотря на это не перемѣщаются по обыкновенію влѣво, а остаются на мѣстѣ, то сознаніе и принуждено приписывать (и опять по привычкѣ) послѣднее обстоятельство существующему одновременно съ предполагаемымъ движеніемъ глаза перемѣщенію предметовъ въ туже сторону, такъ какъ при послѣднемъ условіи нормально не бываетъ перемѣщенія образовъ по поверхности сѣтчатки *).

(такъ какъ мышцы остаются при этомъ въ покоѣ) и человѣкъ считаетъ свой глазъ неподвижнымъ; а между тѣмъ въ дѣйствительности онъ двигается, и при этомъ образы предметовъ передвигаются по поверхности сѣтчатки же; но извѣстно, что при сознаваемой неподвижности глаза, такому перемѣщенію всегда соотвѣтствуетъ передвиженіе предметовъ; оттого и обманъ.

*) Это обстоятельство заставляетъ Гельмгольтца думать, что направленіе видѣнія опредѣляется не мышечнымъ чувствомъ, а степенью волеваго усилія къ сокращенію мышцъ; такъ какъ въ приведенномъ примѣрѣ намѣреніе двинуть глазъ могло выразиться только сознаваемымъ усиліемъ воли безъ всякаго мышечнаго ощущенія. Независимо отъ общихъ возраженій противъ этой мысли, объ которыхъ было говорено выше, описанный эффектъ объясняется совершенно естественно

И такъ, у взрослаго человѣка представленія о направленіи внѣшнихъ предметовъ по отношенію къ положенію его тѣла пріобрѣтаются путемъ упражненія мышечнаго чувства подъ контролемъ цѣли яснаго видѣнія, которое достигается во всякомъ частномъ случаѣ сведеніемъ зрительныхъ осей на разсматриваемомъ предметѣ.

Но какое же значеніе, спросятъ меня, имѣютъ послѣ этого тѣ прирожденныя свойства глаза относить наружу возбужденія своей сѣтчатки въ извѣстномъ направленіи, про которыя было сказано, что въ нихъ лежатъ уже задатки для будущихъ точныхъ опредѣленій направленія видимыхъ предметовъ? Это свойство служитъ основой для развитія только что описанной способности взрослаго человѣка. — Безъ прирожденной строгой локализаціи впечатлѣній, глазу было бы безконечно труднѣе, или даже вовсе невозможно заучить перенесеніе зрительной оси изъ центра поля зрѣнія на образы, наполняющіе периферическія части послѣдняго; такъ какъ при этомъ условіи каждому однородному передвиженію соотвѣтствовали бы безпорядочныя перемѣщенія образовъ.

Разсмотрѣвъ такимъ образомъ условія развитія способности опредѣлять направленіе видимыхъ предметовъ, намъ остается заняться еще рѣшеніемъ вопроса, какая точка, или какія точки, нашего тѣла служатъ исходными пунктами для этихъ опредѣленій. Другими словами мы должны опредѣлить прямыми линіями то направленіе, въ которомъ объективируются свѣтовыя впечатлѣнія.

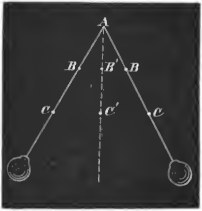
свойствомъ психическихъ актовъ воспроизводиться въ сознаніи при малѣйшемъ намекѣ на который нибудь изъ элементовъ, входящихъ въ составъ даннаго акта. Съ психологической точки зрѣнія наше явленіе тѣмъ менѣе странно, что движенія глазъ со всѣми ихъ послѣдствіями принадлежатъ къ наиболѣе частымъ процессамъ, слѣдовательно съ одной стороны до нельзя увеличены шансы къ воспроизведенію ихъ, а съ другой — сочетаніе отдѣльныхъ элементовъ въ ассоціаціи чрезвычайно крѣпко.

Случай безконечно и очень далекихъ, предметовъ долженъ быть конечно исключенъ, такъ какъ при этомъ условіи направленіе видѣнія можетъ быть дано всякою прямою, проведенною отъ видимаго предмета къ любой точкѣ нашего тѣла.

Подступая къ рѣшенію нашего вопроса, проще всего было бы повидимому думать, что направленіе видѣнія опредѣляется зрительными осями глазъ. Такъ какъ онѣ всегда пересѣкаются въ разсматриваемой точкѣ, то по данному положенію ихъ въ пространствѣ всегда можно найти не только направленіе, но и истинное положеніе фиксируемаго предмета. Такъ и думали физіологи до новѣйшаго времени. Не трудно однако замѣтить слабую сторону этаго воззрѣнія, если принять во вниманіе, что положеніе внѣшнихъ предметовъ мы относимъ къ нашему тѣлу всегда, какъ къ единицѣ, и слѣдовательно мысленно выражаемъ направленіе каждаго изъ нихъ только одною прямою линіею, а зрительныхъ осей, при обычныхъ условіяхъ смотрѣнія, всегда двѣ и онѣ притомъ не параллельны между собою. Герингъ первый обратилъ вниманіе на эту несообразность и первый же доказалъ, что направленіе видѣнія совпадаетъ съ прямою, дѣлящею уголъ между зрительными осями пополамъ. Въ этомъ убѣдиться можно очень легко слѣдующимъ образомъ. Если оба глаза (рис. 63) устремлены неподвижно на точку A, то всякая пара точекъ B B, C C и пр., поставленная по направленію зрительныхъ осей, будетъ сливаться въ одну промежуточную точку B' или C', потому что образы B и B, C и C падаютъ на желтыя пятна; точки B' и C' должны лежать притомъ въ одинаковомъ направленіи съ A такъ, какъ образы ихъ совпадаютъ между собою на сѣтчаткѣ и для всѣхъ точекъ положеніе зрительныхъ осей одинаково; наконецъ при такихъ опытахъ нетрудно бываетъ замѣтить, что B' и C' лежатъ какъ разъ по срединѣ своихъ паръ. Изъ

всего же этого очевидно слѣдуетъ, что направленіе видѣнія опредѣляется линіей, дѣлящей уголъ между зрительными осями пополамъ.

Рис. 63.



Послѣ этого становится понятнымъ безъ дальнѣйшихъ разсужденій слѣдующій другой опытъ. Глаза *A* и *B* (рис. 64) смо-

Рис. 64.



трятъ при параллельныхъ зрительныхъ осяхъ на безконечно далекій предметъ *a*; за тѣмъ глазъ *B* закрывается безъ

измѣненія направленія его оси — предметъ *a* натурально остается на прежнемъ мѣстѣ; теперь, при неподвижномъ положеніи глаза *A*, наблюдатель поворачиваетъ закрытый глазъ *B* въ направленіе *Bf*—предметъ *a* тотчасъ же перемѣщается въ *c*, т. е. въ сторону движенія закрытаго глаза. Другими словами, направленіе, въ которомъ видятся предметы, опредѣляется положеніемъ не только смотрящаго но и закрытаго глаза.

Впрочемъ въ этой формѣ опытъ требуетъ огромнаго навыка управлять въ разбивку направленіями осей зрѣнія, и потому онъ неудобенъ; но въ слѣдующей формѣ опытъ удается всякому. Изъ бумаги свертывается коническая трубка четверти въ 2 длиной, приставляется широкимъ отверстіемъ къ которому нибудь изъ глазъ, а узкимъ направляется на небольшое черное пятно на листѣ бѣлой бумаги; при этомъ другой глазъ держится закрытымъ. Наблюдатель видитъ конечно черное пятно, окруженное контуромъ маленькаго отверстія трубки. За тѣмъ закрытый глазъ открывается. Въ явленіи повидимому непроисходитъ перемѣны—передъ глазами опять пятно, окруженное прежними контурами; но пусть попробуетъ наблюдатель кончикомъ карандаша или пера опредѣлить на бумагѣ мѣсто видимаго пятна—онъ всегда покажетъ не на дѣйствительное мѣсто, а въ сторону отъ него, и именно въ сторону свободно смотрящаго глаза. Дѣло объясняется очень просто тѣмъ, что при данной формѣ опыта ось свободнаго глаза обыкновенно направляется не на черное пятно, при чемъ локализація его была бы вѣрна, а въ сторону отъ него, и именно въ свою сторону. Ясно, что отъ такого уклоненія оси предметъ долженъ перемѣститься въ томъ же направленіи. Еще страннѣе выходитъ этотъ опытъ въ слѣдующей формѣ (опытъ Роджерса): одинъ глазъ смотритъ черезъ трубку, свернутую изъ бумаги, длиною четверти въ двѣ, на предметъ, находящійся въ разстояніи 2-хъ, 3-хъ аршинъ; а передъ другимъ закрытымъ глазомъ, въ разстояніи наприм.

одной четверти, помѣщается рука, листъ бумаги, или вообще какая нибудь непрозрачная ширма. Вслѣдъ за этимъ закрытый глазъ открывается — и человѣку кажется, что трубка, черезъ которую, по прежнему, видится наблюдаемый предметъ, какъ будто продырявливаетъ руку, или ширму, лежащую передъ глазомъ, бывшимъ закрытымъ. Объясненіе этому очень просто: здѣсь отверстіе трубки съ рисующимся черезъ него предметомъ играетъ роль точки въ предъидущемъ опытѣ и перемѣщается въ сторону ширмы на томъ же основаніи, какъ и точка въ сторону открываемаго глаза; но такъ какъ здѣсь передъ однимъ глазомъ лежитъ непрозрачная ширма, а другой продолжаетъ видѣть черезъ трубку предметъ, то сознаніе и принуждено продырявить ширму. То же самое явленіе извѣстно наконецъ всѣмъ микроскопистамъ. — Если смотрѣть въ микроскопъ напр. лѣвымъ глазомъ, положить справа отъ микроскопа бѣлый листъ бумаги и открыть правый глазъ, то микроскопическій образъ рисуется на бумагѣ.

Правило Геринга совершенно вѣрно для нормальныхъ глазъ, но оно терпитъ исключенія въ слѣдующихъ случаяхъ: у кривыхъ людей и у тѣхъ, которые по роду своихъ занятій, или по слабости одного изъ глазъ, привыкли смотрѣть на предметы преимущественно однимъ глазомъ; — такіе люди опредѣляютъ направленіе видимыхъ предметовъ не изъ точки, лежащей у корня носа посрединѣ глазъ, а изъ зрачка смотрящаго глаза. Они даже держатъ голову иначе, при разсматриваніи стоящихъ прямо передъ ними предметовъ, и поворачиваютъ ее нѣсколько въ сторону недѣятельнаго глаза.

Но какъ же можетъ развиться способность объективировать ощущенія въ такомъ направленіи, которое не имѣетъ повидимому никакихъ реальныхъ основъ? Объясняютъ это тѣмъ, что поля зрѣнія обоихъ глазъ всегда представляются человѣку до того слитыми между собою, что даже при усиліяхъ воли (безъ посредства закрыванія того или другаго

глаза) онъ не можетъ отличить дѣятельности одного глаза отъ другаго, и потому по необходимости относитъ видѣніе предметовъ къ дѣятельности какъ бы одного идеальнаго глаза, лежащаго посрединѣ между реальными. Центръ желтаго пятна этого циклопическаго глаза и составляетъ исходную точку для опредѣленія направленій.

Въ случаѣ, когда человѣкъ съ совершенно нормальнымъ зрѣніемъ смотритъ на предметы только однимъ глазомъ, закрывши другой, то по привычкѣ онъ обыкновенно объективируетъ ощущенія по направленію изъ циклопическаго глаза; но стоитъ только ясно представить себѣ данныя условія смотрѣнія, и направленіе видѣнія тотчасъ совпадаетъ съ зрительной осью смотрящаго глаза.

Къ явленіямъ, открытымъ Герингомъ относительно направленія видѣнія, Гельмгольтцъ сдѣлалъ слѣдующую прибавку: такъ какъ движенія глазъ, за малыми исключеніями, сопровождаются вращеніями ихъ около передне-задней оси, то при измѣненіяхъ положенія зрительныхъ осей вмѣстѣ съ направленіемъ измѣняются сужденія о направленіи горизонтальныхъ и вертикальныхъ линій. Это онъ нашелъ путемъ слѣдующаго опыта. Наблюдатель смотрѣлъ однимъ глазомъ, закрывши другой, на бѣлый листъ бумаги черезъ горизонтальную цилиндрическую трубку, въ пустомъ днѣ которой была натянута черная нитка. При этомъ онъ измѣнялъ какъ взаимное положеніе зрительныхъ осей, держа ихъ то параллельными, то сходящимися, такъ и положеніе зрительныхъ плоскостей; чтобы не измѣнять при послѣднемъ условіи горизонтальнаго положенія трубки, голова наблюдателя наклонялась то впередъ, то назадъ. Все же это дѣлалось съ цѣлью установить на глазъ совершенно горизонтально, или вертикально черную нитку. Послѣ каждаго частнаго наблюденія бѣлый листъ бумаги удалялся и установленное

положеніе нитки свѣрялось съ истинно горизонтальными и вертикальными линіями.

При этихъ-то опытахъ и было замѣчено, что пока зрительныя оси обоихъ глазъ оставались параллельными, нитка ставилась при всѣхъ положеніяхъ головы дѣйствительно горизонтально, а вертикальное положеніе ея уклонялось отъ истиннаго на столько, на сколько уклоняется отъ вертикала кажущійся вертикальный меридіанъ смотрящаго глаза. Дѣло другаго рода, когда ось закрытаго глаза изъ положенія, параллельнаго оси смотрящаго, переходила въ сходящееся: тогда нитка, установленная передъ тѣмъ горизонтально или вертикально, измѣняла свое направленіе. Явно, что это происходитъ отъ вращенія закрытаго глаза около переднезадней оси, сопутствующаго перемѣщенію его зрительной оси кнутри.

§ 56. Движеніе предметовъ мы можемъ опредѣлять при двухъ различныхъ условіяхъ: оставаясь въ совершенномъ покоѣ и слѣдя за движущимися предметами головою и глазами. Въ первомъ случаѣ представленіе о движеніи опредѣляется слѣдующими двумя факторами: сознаніемъ неподвижности всего тѣла, т. е. туловища, головы и глазъ, и перемѣщеніемъ образовъ на поверхности сѣтчатки. Во второмъ случаѣ въ представленіе входитъ: сознаніе движеній головы и глазъ и отсутствіе перемѣщеній образовъ на поверхности сѣтчатки. То и другое легко доказать ложными представленіями о движеніи предметовъ, когда у человѣка выпадаетъ или извращается сознаніе о дѣятельности котораго нибудь изъ факторовъ представленія. Примѣръ такого обмана для втораго случая былъ уже приведенъ выше, когда говорилось о ложныхъ представленіяхъ движенія у людей съ внезапными параличами которой нибудь изъ прямыхъ мышцъ глаза, когда такіе люди дѣлаютъ усиліе воли повернуть глазъ въ сторону парализованной мышцы. Для перваго же

Развитіе представленій о движеніи предметовъ.

случая самый разительный примѣръ обмана представляетъ кажущееся движеніе солнца и множество другихъ подобныхъ явленій. Каждый разъ, какъ человѣкъ, двигаясь, считаетъ положеніе свое въ пространствѣ неподвижнымъ, покоющіеся предметы представляются ему движущимися, потому что покой тѣла + перемѣщеніе образовъ на сѣтчаткѣ = движенію внѣшнихъ предметовъ.

Развитіе представленій о плоскостной формѣ предметовъ.

§ 57. Выучившись, путемъ упражненія мышечнаго чувства, локализировать эффекты свѣтовыхъ впечатлѣній въ полѣ зрѣнія, человѣкъ очевидно пріобрѣтаетъ въ мышечныхъ движеніяхъ глаза могучее орудіе для познанія плоскостной формы предметовъ. Съ этою цѣлью онъ передвигаетъ точку пересѣченія своихъ зрительныхъ осей, то по контурамъ предмета, то въ направленіи отъ одной ярко выступающей точки его къ другой. Въ результатѣ очевидно получается представленіе о направленіи контуровъ и вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣляется взаимное положеніе всѣхъ выступающихъ точекъ. Убѣдиться въ томъ, что человѣкъ, желая видѣть ясно всѣ форменныя детали предмета, пускаетъ въ ходъ движенія глазъ, чрезвычайно легко уже изъ его внѣшняго вида—онъ безпрерывно двигаетъ по предмету глазными осями; — но еще легче убѣдиться въ этомъ слѣдующимъ образомъ: если человѣкъ желаетъ нарисовать видимую имъ форму, то ему далеко недостаточно одного взгляда на предметъ—для этого онъ долженъ безпрерывно фиксировать наносимые имъ линіи и группы точекъ и потомъ свѣрять нарисованное съ видимымъ. Можно доказать далѣе, что человѣкъ употребляетъ въ дѣло глазныя движенія даже при опредѣленіи такихъ простыхъ формъ, какъ прямая линія (доказательство это принадлежитъ Гельмгольтцу). Читатель помнитъ, что, на основаніи законовъ движенія глазъ (поскольку послѣднія выражаются измѣненіями въ положеніи горизонтальныхъ и отвѣсныхъ свѣтовыхъ слѣдовъ), горизонтальная

прямая, будучи разсматриваема глазами, опущенными книзу, кажется выгнутой кверху; — для глазъ, поднятыхъ кверху, она кажется наоборотъ выгнутой книзу; и наконецъ представляется прямой, если лежитъ такимъ образомъ, что средина ея соотвѣтствуетъ первичному положенію глазъ. Зная это, дайте въ руки человѣку линейку и заставьте его узнать на глазъ, представляетъ ли ея ребро прямую линію или нѣтъ. Человѣкъ этотъ, безъ знанія описанныхъ обмановъ, будетъ держать ее горизонтально такимъ образомъ, чтобы средина ребра соотвѣтствовала первичному положенію глазъ; другими словами, для опредѣленія формы ребра, прямое ли оно или нѣтъ, человѣкъ передвигаетъ глазныя оси отъ средины его въ обѣ стороны (при передвиженіяхъ глазъ изъ первичнаго положенія прямо кверху, книзу, вправо и влѣво, вертикальные и горизонтальные слѣды не измѣняютъ своего положенія). Изъ этого уже само собою слѣдуетъ, что представленіе о прямой линіи получается у взрослаго человѣка подъ условіемъ полнаго совпаденія между собою, въ мѣстѣ наияснѣйшаго видѣнія, слѣда отъ всякаго передвинувшагося уже участка линіи съ образомъ того, который рисуется па желтомъ пятнѣ въ послѣдующее мгновеніе.

Участіе глазныхъ движеній въ развитіи представленій о плоскостной формѣ, можно доказать еще и другимъ образомъ, если принять во вниманіе, что въ точное опредѣленіе формы непремѣнно входитъ сравнительное измѣреніе разстояній между различными точками, или, что все равно, опредѣленіе сравнительной длины прямыхъ линій, также опредѣленіе степени параллельности или наклоненія ихъ и проч.

Въ отношеніи къ опредѣленію сравнительной длины прямыхъ линій опытъ показываетъ, что глазомѣръ даетъ самые вѣрные результаты при сравненіи между собою прямыхъ, совпадающихъ по направленію, или по крайней мѣрѣ па-

раллельныхъ другъ другу; особенно если параллельныя линіи стоятъ, хотя и далеко, но симметрично относительно общаго къ нимъ перпендикуляра. Въ длинѣ же линій, перпендикулярныхъ или вообще наклоненныхъ другъ къ другу, глазомѣръ обыкновенно сильно ошибается. Все это очень легко объясняется, если допустить въ перечисленныхъ опредѣленіяхъ участіе глазныхъ движеній. Равенство двухъ совпадающихъ по направленію линій есть результатъ совпаденія слѣда отъ образа одной изъ нихъ съ образомъ другой. Тоже и для параллельныхъ линій:—когда онѣ стоятъ симметрично относительно перпендикуляра, и глаза фиксируютъ средину одной изъ линій въ первичномъ положеніи, то, поднимаясь или опускаясь по перпендикуляру, они устремляются на средину другой линіи и слѣдъ отъ первой совпадаетъ съ образомъ второй. Такого же совпаденія, при сравнительномъ разсматриваніи наклонныхъ линій, обыкновенно не бываетъ.

Когда человѣкъ, путемъ упражненія мышечнаго чувства, выучивается локализировать въ полѣ зрѣнія эффекты свѣтовыхъ впечатлѣній, для него по необходимости выясняется въ тоже время связь между положеніемъ возбужденныхъ точекъ на сѣтчаткѣ и направленіемъ соотвѣтствующихъ имъ точекъ въ пространствѣ. Тогда для человѣка дѣлается возможной локализація свѣтовыхъ впечатлѣній и безъ помощи глазныхъ движеній: — онъ получаетъ способность судить въ общихъ чертахъ о формѣ предметовъ и при одномъ бѣгломъ взглядѣ на нихъ, даже въ такіе короткіе промежутки времени, какъ напр. продолжительность одной электрической искры.

Слѣдовало бы думать послѣ этого, что постоянному по формѣ образу на сѣтчаткѣ всегда будутъ соотвѣтствовать однѣ и тѣ же формы предметовъ; однако опыты Геринга и преимущественно Фолькманна показываютъ повидимому противное. Послѣдній изслѣдователь нашелъ, что если развить въ глазу какой нибудь рѣзко очерченный свѣтовой слѣдъ, напр.

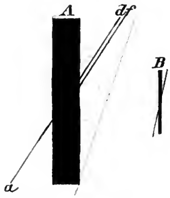
цвѣтной прямоугольный крестъ или кольцо, и проицировать его на плоскость, наклоненную разомъ въ двѣ разныя стороны, напр. впередъ или назадъ и вмѣстѣ съ тѣмъ на право или налѣво, то крестъ представляется косымъ, кругъ — эллипсомъ. И это происходитъ даже при условіи, если плоскость, на которую проицируется слѣдъ, стоитъ собственно говоря вертикально и только оттѣнена такимъ образомъ, какъ будто имѣетъ наклоненіе въ двѣ разныя стороны. Возможно, что это явленіе зависитъ отъ вращенія глаза около зрительной оси; но возможно и то, что сюда замѣшивается психическій моментъ привычки. Всякій предметъ, нанесенный на отвѣсно стоящую плоскость, очевидно измѣнитъ для глазъ наблюдателя свою форму, если плоскость эта будетъ выведена изъ вертикальнаго положенія; глазу встрѣчается тьма такихъ случаевъ — и онъ привыкаетъ ассоціировать измѣненіе формы съ измѣненіемъ положенія плоскости.

§ 58. Вообще обмановъ зрѣнія въ дѣлѣ сужденія о направленіи, и слѣдовательно о формѣ предметовъ, такъ много и многіе изъ нихъ такъ поучительны, что нельзя не остановиться на болѣе рѣзкихъ изъ нихъ. Обманы въ сужденіяхъ о направленіи и формѣ предметовъ.

Взглянувши на фиг. *A* рис. 65, всякій скажетъ напр., что изъ двухъ тонкихъ линій *d* и *f* продолженіе линіи *a* составляетъ послѣдняя, т. е. *f*, а между тѣмъ продолженіемъ этимъ служитъ наоборотъ *d*. Объясненіе этому явленію даетъ фиг. *B* того же рисунка. Присматриваясь пристально къ послѣдней, не трудно замѣтить, что верхняя тонкая черта, приближаясь къ вертикальной толстой, какъ будто измѣняетъ свое прямое направленіе и поворачиваетъ по дугѣ влѣво; а нижняя поворачиваетъ по такой же дугѣ вправо; оттого и происходитъ несовпаденіе направленій. Обманъ же этотъ, т. е. поворачиваніе косыхъ линій на встрѣчу вертикальной зависитъ преимущественно отъ иррадіаціи, т. е. расплыванія, образовъ линій около мѣста ихъ встрѣчи.

Вслѣдствіе этаго расплыванія онѣ должны сливаться для глаза ранѣе, чѣмъ на самомъ дѣлѣ; для этого же необходимо, чтобы обѣ линіи, или по крайней мѣрѣ одна изъ

Рис. 65.



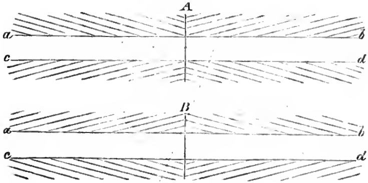
нихъ, перемѣнили свое направленіе. Понятно, что въ данномъ случаѣ для сознанія измѣнитъ направленіе скорѣе тонкая, чѣмъ толстая линія, потому что послѣдняя и по своей фигурѣ и по направленію представляетъ болѣе рѣзкій объектъ.

Болѣе сложный случай зрительнаго обмана представленъ на рис. 66 и 67. Оба они даютъ въ сущности одно и тоже — кажущуюся непараллельность между собою длинныхъ горизонтальныхъ (въ рис. 66) и вертикальныхъ (въ рисункѣ 67) линій, если каждая пара ихъ пересѣкается рядомъ короткихъ косыхъ линій въ сходящихся направленіяхъ.

Не трудно замѣтить во первыхъ, что непремѣннымъ условіемъ обмана должно быть сходящееся (въ ту или другую сторону) направленіе косыхъ линій, пересѣкающихъ обѣ параллельныя;—при параллельности обѣихъ системъ косыхъ

линій обманъ съ самомъ дѣлѣ исчезаетъ. Столько же легко убѣдиться далѣе, что главнымъ факторомъ въ обманѣ являются движенія глазъ, при разсматриваніи фигуръ.—Если взять въ руки булавку, упереться концомъ ея на рис. 66

Рис. 66.



въ какую нибудь точку линій A или B, промежуточную между параллельными *ab* и *cd*, и пристально фиксировать эту точку, то обманъ исчезаетъ — *ab* и *cd* кажутся тогда параллельными другъ другу. Тоже и съ любою парою сосѣднихъ вертикальныхъ линій рис. 67, если глазъ фиксируетъ неподвижно какую нибудь промежуточную точку. При послѣднемъ условіи болѣе удаленныя вертикальныя линіи продолжаютъ однако казаться наклоненными другъ къ другу *). Легко замѣтить наконецъ, что обманъ исчезаетъ всякій разъ, какъ глазъ теряетъ возможность ясно различать положеніе косыхъ линій по отношенію къ параллельнымъ — если напр. плоскость рисунка почти совпадаетъ съ

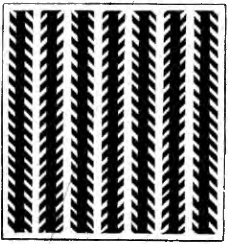
*) Тоже происходитъ, по опытамъ Гельмгольтца, и при освѣщеніи рис. 67 электрической искрой, которое исключаетъ возможность движеній глазъ во время акта видѣнія.

зрительною плоскостью, или глазъ наблюдателя, смотря на рисунокъ, будетъ приспособленъ вдаль.

Всѣ эти обстоятельства, взятыя вмѣстѣ, показываютъ, что незначительная доля обмана объусловливается моментами независимыми отъ движенія глазъ, но что послѣднее обстоятельство въ значительной степени усиливаетъ обманъ.

Первый моментъ заключается по мнѣнію Гельмгольтца въ томъ, что при сравненіи между собою острыхъ угловъ съ тупыми первые намъ обыкновенно кажутся увеличенными насчетъ послѣднихъ (объясненіе ниже); оттого участки горизонтальныхъ (рис. 66) и вертикальныхъ (рис. 67) ли-

Рис. 67.



ній, лежащіе между короткими косыми и образующіе стороны острыхъ угловъ, измѣняютъ повидимому свое направленіе; но такъ какъ рядомъ съ этимъ не уничтожается представленіе о совпаденіи этихъ участковъ между собою, то черезъ это происходитъ кажущееся уклоненіе всей горизонтальной или вертикальной линіи. Второй моментъ, по мнѣ-

нію того же изслѣдователя, заключается въ томъ, что когда разсматривающій глазъ приближается къ прямой линіи подъ острымъ угломъ, то она приходитъ въ движеніе и измѣняетъ повидимому свое направленіе. Это онъ доказываетъ прямыми опытами надъ прямою линіею, къ которой проводится въ косвенномъ направленіи булавка, и глазъ неотступно слѣдитъ за ея концомъ.

Пополненіе слѣпыхъ пятенъ въ полѣ зрѣнія.

§ 59. О пополненіи слѣпыхъ пятенъ въ полѣ зрѣнія всего умѣстнѣе будетъ упомянуть въ концѣ трактата о развитіи представленій о плоскостной формѣ.

Читатель помнитъ, что такихъ пятенъ въ каждомъ глазу по одному; — что они соотвѣтствуютъ мѣстамъ входа зрительнаго нерва въ полость глазныхъ яблокъ; и что каждое изъ нихъ имѣетъ сравнительно большое протяженіе. При обыкновенныхъ условіяхъ видѣнія, т. е. при смотрѣніи обоими глазами, въ полѣ зрѣнія не существуетъ пробѣловъ, потому что между наполняющими его предметами не можетъ быть ни одного, котораго образъ рисовался бы на обоихъ слѣпыхъ пятнахъ разомъ: слѣдовательно пробѣлъ одного глаза всегда пополняется дѣятельностью другаго. При смотрѣніи однимъ глазомъ такого пополненія быть уже разумѣется не можетъ; но и теперь поле зрѣнія представляется безъ пробѣла. Это зависитъ частью отъ постоянныхъ движеній смотрящаго глаза, частью же отъ свойства нашего сознанія пополнять прорѣху формами, подходящими по характеру къ окружающимъ ее образамъ.

Объ этомъ-то пополненіи и будетъ рѣчь.

Между изслѣдователями существуетъ три различныхъ мнѣнія о занимающемъ насъ явленіи. Одни (Веберъ, Ф. Виттихъ и пр.), выходя изъ мысли, что для ощущенія промежутка между двумя точками, или двумя предметами, необходимо, чтобы между образами ихъ на сѣтчаткѣ помѣщался по крайней мѣрѣ одинъ чувствующій элементъ, отлично воз-

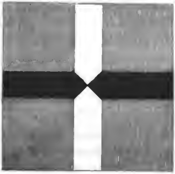
бужденный отъ сосѣднихъ, — отрицаютъ вообще существованіе прорѣхи въ полѣ зрѣнія, соотвѣтственно слѣпому пятну;—по ихъ мнѣнію глазъ перципируетъ слитно эффекты возбужденія всѣхъ чувствующихъ элементовъ, непосредственно окружающихъ это мѣсто сѣтчатки. Другіе (Фолькманнъ) наоборотъ утверждаютъ, что въ полѣ зрѣнія существуетъ прорѣха, но что она всегда, и слѣдовательно какъ бы насильственно, пополняется воображеніемъ подъ характеръ освѣщенія, окрашенія и рисунка окружающихъ слѣпое пятно предметовъ. Третье мнѣніе (Оберъ и Гельмгольтцъ) отличается отъ втораго лишь тѣмъ, что пополненіе пробѣла въ полѣ зрѣнія не считается насильственнымъ: при сосредоточенномъ вниманіи къ ощущенію въ сферѣ слѣпаго пятна, прорѣха оказывается иногда дѣйствительной прорѣхой, безъ восполненія ея содержимымъ окружающихъ впечатлѣній.

Защитники перваго мнѣнія утверждаютъ, что когда образъ какого-нибудь предмета, напр. прямой линіи, падаетъ своей срединой на слѣпое пятно, онъ всегда сокращается въ представленіи на величину длинниковъ послѣдняго, (прямая линія, по ихъ мнѣнію кажется при этомъ всегда укороченной); и въ этомъ они видятъ главнѣйшую опору своей мысли. Защитники же втораго мнѣнія потому именно и утверждаютъ обратное, что при подобныхъ же опытахъ не замѣчаютъ сокращенія предметовъ—прямая линія кажется имъ безъ перерыва, какъ и первымъ, но не укороченной.

Не обладая опытностью въ наблюденіи периферическихъ частей поля зрѣнія, я однако склоняюсь въ пользу мнѣнія Обера и Гельмгольтца, что прорѣха въ полѣ зрѣнія дѣйствительно существуетъ и что она не восполняется насильственно. Вотъ два основныхъ опыта, которыми доказывается существованіе прорѣхи. Если фиксировать правымъ глазомъ точку *a* (рис. 68) съ разстоянія 16 цм., то на слѣ-

ное пятно падаетъ какъ разъ средина Фолькманновскаго креста (этотъ опытъ былъ устроенъ первоначально Фолькманномъ); при этомъ иногда кажется, что сливаются между собою вертикальныя колѣна, чаще, — что горизонтальныя; но при сосредоточенномъ вниманіи можно замѣтить съ по-

Рис. 68.



ложительностью, что средины креста глазъ, собственно говоря, не видитъ. Другой примѣръ: правый глазъ фиксируетъ неподвижно точку; со стороны праваго виска рука тихо подвигаетъ влѣво бумажку съ нарисованнымъ на ней черным кругомъ; при этомъ всегда можно бываетъ замѣтить моментъ, когда окружность круга вступила въ сферу слѣпаго пятна—въ кругѣ ощущается какой-то неопредѣленный пробѣлъ, исчезающій при дальнѣйшемъ передвиженіи бумажки. Прорѣха въ полѣ зрѣнія не имѣетъ въ этихъ случаяхъ сколько нибудь рѣзко опредѣленныхъ границъ, и это обстоятельство чрезвычайно остроумно объясняется Гельмгольтцемъ. Онъ сравниваетъ перерывъ поля зрѣнія въ окружности слѣпаго пятна съ перерывомъ глазнаго поля зрѣнія вообще: какъ тамъ, такъ и здѣсь перерывъ обусловливается отсутствіемъ чувствующихъ элементовъ сѣтчатки,

и слѣдовательно познается только изъ исчезанія предметовъ; но отсюда до рѣзкой очерченности прорѣхи еще далеко — для этого нужно, чтобы за исчезнувшими предметами слѣдовало ощущеніе опредѣленнаго качества, а его-то и быть не можетъ.

Что же касается до акта пополненія слѣпаго пятна, то Гельмгольтцъ считаетъ этотъ процессъ, какъ и Фолькманнъ, продуктомъ воображенія. Для разъясненія онъ приводитъ слѣдующую аналогію. Разсматривая предметы, наполняющіе поле зрѣнія нашего глаза, мы относимся къ содержимому его совершенно такъ же, какъ къ содержимому разсматриваемой нами картины. Если послѣдняя представляетъ на какихъ нибудь неважныхъ частяхъ, напр. на фонѣ, небольшую прорѣху, то мы обыкновенно обходимъ ее, какъ бы не замѣчая ея существованія; — такая прорѣха нисколько не мѣшаетъ цѣльности общаго впечатлѣнія, не смотря даже на то, что, при рѣзкой очерченности ея, она очень легко останавливаетъ на себѣ вниманіе наблюдателя. Условія для подобнаго же обхожденія прорѣхи въ полѣ зрѣнія даны еще въ сильнѣйшей степени для слѣпаго пятна: вниманіе наше поглощено обыкновенно образами, наполняющими желтое пятно, прорѣха же лежитъ въ боковыхъ частяхъ поля зрѣнія; да къ тому же границы ея не замѣчаются даже при сосредоточенномъ вниманіи. Очевидно прорѣха проглядывается, т. е. восполняется содержимымъ окружающихъ впечатлѣній. На этомъ-то основаніи, смотря пристально на какое нибудь слово по срединѣ печатной страницы и обращая въ тоже время сосредоточенное вниманіе на боковыя части поля зрѣнія, можно чувствовать, что есть на страницѣ мѣсто, гдѣ глазъ ничего невидитъ; но стоитъ только ослабнуть вниманію—и это мѣсто наполняется воображеніемъ буквами, подъ характеръ окружающихъ впечатлѣній.

Развитіе представленій о величинѣ предметовъ.

§ 60. Говоря о первичныхъ пространственныхъ ощущеніяхъ человѣка, было сказано, что они должны заключать въ себѣ элементы для различенія величины предметовъ, поскольку послѣдняя стоитъ въ связи съ величиною образовъ на сѣтчаткѣ. У маленькихъ дѣтей связь эта высказывается уже очень рѣзко: не составивъ себѣ еще опыта объ уменьшеніи кажущейся величины предметовъ съ удаленіемъ ихъ отъ глазъ — уменьшеніи, идущемъ параллельно уменьшенію образовъ на сѣтчаткѣ, дѣти потому именно и дѣлаютъ ложныя заключенія о величинѣ видимыхъ предметовъ, что судятъ объ ней только по величинѣ угла зрѣнія (которая соотвѣтствуетъ величинѣ образа на сѣтчаткѣ). Гельмгольтцъ разсказываетъ про себя, что будучи ребенкомъ онъ принялъ издалека солдатъ, стоявшихъ на галлереѣ высокой башни, за игрушекъ и просилъ свою мать достать ему ихъ рукою. У взрослыхъ людей связь эта тоже обязательна для сознанія. Она высказывается всего яснѣе напр. въ случаяхъ, гдѣ предметъ кажется увеличеннымъ только потому, что даетъ круги свѣторазсѣянія на сѣтчаткѣ; напр. случай, описанный на стр. 99. Вообще же, никто не будетъ конечно отрицать, что взрослый человѣкъ способенъ оцѣнивать различія въ кажущейся величинѣ предметовъ даже при бѣгломъ взглядѣ на нихъ (или при освѣщеніи ихъ въ темнотѣ электрической искрой), когда не можетъ быть и рѣчи объ томъ, чтобы онъ употреблялъ при этомъ въ дѣло движенія глазъ. Другими словами, у взрослаго человѣка связь между величиною предмета и величиною образа всегда уже выяснена до степени опредѣленнаго отношенія.

Но какимъ же образомъ выясняется это отношеніе, т. е. какимъ образомъ развивается способность связывать кажущуюся величину предметовъ съ величиною образовъ на сѣтчаткѣ? Процессъ здѣсь въ сущности тотъ же, что при развитіи представленій о направленіи видимыхъ предметовъ,

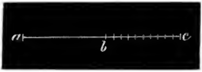
только факторы иные. Однимъ изъ нихъ служитъ то обобстоятельство, что всякіе два неравные по величинѣ предмета возбуждаютъ неравное число чувствующихъ элементовъ сѣтчатокъ и даютъ этимъ сознанію реальныя основы (хотя человѣкъ и не способенъ сознавать положенія чувствующихъ элементовъ своихъ сѣтчатокъ) къ различенію ихъ другъ отъ друга. Другимъ же факторомъ служатъ ощущенія, связанныя съ величинами передвиженія зрительныхъ осей по окраинамъ, поперечникамъ и длинникамъ разсматриваемыхъ предметовъ. Будучи даны всегда вмѣстѣ и взаимно контролируя другъ друга, оба фактора становятся наконецъ двумя самостоятельными орудіями въ дѣлѣ опредѣленія величины предметовъ, могущими дѣйствовать независимо одно отъ другаго. Но конечно первенство, въ дѣлѣ тонкихъ опредѣленій, всегда остается за вторымъ факторомъ. Это вытекаетъ съ особенной ясностью изъ того, что путемъ упражненія глаза въ сравненіи между собою близкихъ другъ къ другу величинъ, способность различенія ихъ значительно изощряется; при подобныхъ же сравненіяхъ, глаза, какъ всякій знаетъ, никогда не остаются въ покоѣ, а безпрерывно передвигаютъ свои зрительныя оси по окраинамъ, поперечникамъ и длинникамъ сравниваемыхъ предметовъ.

Такимъ образомъ, упражненное мышечное чувство даетъ непосредственные элементы для сравненія между собою угловъ зрѣнія (а черезъ это и образовъ на сѣтчаткѣ), и представляетъ слѣдовательно главнаго руководителя въ дѣлѣ сужденія о кажущейся величинѣ предметовъ.

Впрочемъ бываютъ случаи, гдѣ при сравненіи между собою однородныхъ повидимому величинъ сознаніе руководствуется, сверхъ величины угловъ зрѣнія, еще другими моментами, и отсюда происходятъ очень странныя ошибки. Такіе случаи представлены на рис. 69 и 70. Въ первомъ изъ нихъ линія *ac* кажется раздѣленной въ точкѣ *b* на

совершенно равныя половины, а между тѣмъ *ab* больше *bc*, раздѣленной на мелкія части. Другими словами, прямая, раздѣленная на части, кажется больше равной ей прямой безъ дѣленій. На этомъ же основаніи въ равностороннемъ

Рис. 69.



треугольникѣ или квадратѣ (рис. 70) тѣ стороны кажутся удлиненными, которыя представляютъ дѣленія. Обманъ производится здѣсь вмѣшательствомъ моментовъ, принадлежащихъ къ области одновременныхъ контрастовъ. Въ приведенныхъ примѣрахъ сравниваются между собою несовершенно однородныя величины — однѣ представляютъ сложность, а другія

Рис. 70.



простыя; сложность же всегда ведетъ сознаніе къ преувеличенію размѣровъ. — Такъ, всякому извѣстно, что пустая комната начинаетъ казаться больше, если наполнить ее мебелью. Эти же моменты часто вмѣшиваются, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, въ наши сужденія объ удаленіи предметовъ. Наконецъ ими же объясняется въ сущности фальшивая оцѣнка острыхъ и тупыхъ угловъ, дополняющихъ другъ друга до двухъ прямыхъ, т. е. преувеличеніе первыхъ насчетъ послѣднихъ: острые углы представляютъ величины бо-

лѣе опредѣленныя чѣмъ тупые, первыя же всегда преувеличиваются въ сравненіи съ послѣдними *).

Выше, въ началѣ параграфа было сказано, что маленькія дѣти въ сужденіяхъ о величинѣ предметовъ часто руководствуются только угломъ зрѣнія и не принимаютъ въ соображеніе измѣненій послѣдняго съ измѣненіемъ удаленія видимыхъ предметовъ, т. е. увеличенія угла зрѣнія, когда предметы приближаются, и наоборотъ. У взрослаго же человѣка эти моменты очевидно принимаются въ расчетъ, — онъ умѣетъ оцѣнивать до извѣстной степени истинную величину различно удаленныхъ предметовъ; и такъ какъ это дѣлается не путемъ размышленій, а непосредственно, то въ представленіе объ этихъ величинахъ должны очевидно замѣшиваться моменты, компенсирующіе для сознанія (разумѣется до извѣстной степени, но всегда въ противоположную сторону) измѣненія угловъ зрѣнія, или величинъ образовъ на сѣтчаткѣ, при передвиженіи предметовъ вдаль и вблизь **).

Такихъ компенсирующихъ моментовъ два: различныя степени сведенія зрительныхъ осей, соотвѣтствующія приближенію и удаленію предметовъ, и различныя степени аккомода-

---

*) Самый поразительный примѣръ того, что неопредѣленность величины ведетъ сознаніе къ сокращенію ея, представляетъ кругозоръ моря, когда на всемъ видимомъ пространствѣ его невидно ни паруса, ни судна. — Тогда видимая поверхность воды вовсе не кажется такой большой; но она сейчасъ расширяется, если на горизонтѣ появится парусъ и этимъ опредѣлится болѣе или менѣе одинъ изъ радіусовъ круга.

**) Примѣры такой способности встрѣчаются на каждомъ шагу. — Ростъ человѣка, величина его лица, размѣры стула, стола и пр., повидимому нисколько не уменьшаются для насъ, если мы смотримъ на нихъ въ комнатѣ одинъ разъ съ разстоянія 3 шаговъ, а другой съ разстоянія 6; а между тѣмъ величины ихъ образовъ на сѣтчаткѣ при этихъ условіяхъ очень различны. Во всѣ подобные акты сознанія замѣшиваются разумѣется и чисто психическіе моменты — знакомство съ величиною предметовъ; — но компенсація измѣненій угловъ зрѣнія имѣетъ, какъ мы увидимъ, мѣсто и внѣ такого знакомства.

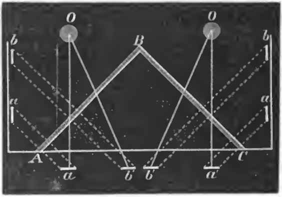
тивныхъ движеній при тѣхъ же условіяхъ. Изъ нихъ первый моментъ оказывается по опытамъ дѣятельнѣе втораго; поэтому мы разсмотримъ его сначала.

Дѣло объясняется всего лучше на примѣрѣ. Положимъ, прямо передъ глазами, въ направленіи срединной плоскости тѣла, стоятъ три различно удаленныхъ предмета такимъ образомъ, что уголъ зрѣнія для всѣхъ нихъ общій. Тогда и образы ихъ на сѣтчаткахъ будутъ всѣ равны между собою, а между тѣмъ человѣкъ при взглядѣ на такіе предметы непосредственно сознаетъ, что самый дальній изъ нихъ всѣхъ больше, а самый близкій всѣхъ меньше. Это происходитъ оттого, что при актѣ видѣнія каждаго изъ трехъ предметовъ, къ общей для всѣхъ величинѣ угла зрѣнія, присоединяются различныя степени сведенія зрительныхъ осей—къ ближнему предмету наибольшее, къ дальнему самое слабое. Въ жизни человѣка такая исторія повторяется милліоны разъ и въ головѣ его укрѣпляется слѣдующій рядъ зрительно-мышечныхъ ассоціацій: данная величина угла зрѣнія + увеличивающееся сведеніе зрительныхъ осей = уменьшенію предметовъ; та же величина угла зрѣнія + уменьшающееся сведеніе зрительныхъ осей = увеличенію предметовъ.

Существованіе такихъ невольныхъ ассоціацій блистательно подтверждается слѣдующимъ опытомъ Уитстона, видоизмѣненнымъ Г. Мейеромъ. *AB* и *BC* (рис. 71) суть зеркала Уитстоновскаго стереоскопа, обращенныя отражающими поверхностями къ глазамъ *OO*. *a* и *a* суть пара совершенно одинаковыхъ предметовъ (стереоскопическихъ картинокъ), могущая передвигаться въ направленіи отъ *a* къ *b* и наоборотъ. Когда предметы находятся въ положеніи *aa*, образы ихъ *a'a'* сливаются между собою подъ условіемъ, если зрительныя оси глазъ *OO* имѣютъ направленіе *Oa'* и *Oa'*. Когда *aa* передвигаются въ *bb*, зрительныя оси должны уже принять направленіе *Ob'* и *Ob'*, чтобы образы *b'* и *b'* слились между

собою. При такомъ передвиженіи величины образовъ предметовъ на сѣтчаткахъ глазъ *OO* нисколько не измѣняются, степень аккомодаціи глазъ тоже остается прежней, измѣняется только степень сведенія зрительныхъ осей — и вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняется величина стереоскопическаго образа.

Рис. 71.



При передвиженіи *aa* къ *bb* она уменьшается, а при обратномъ движеніи увеличивается. То же самое можно наблюдать и въ обыкновенномъ стереоскопѣ, если, разрѣзавъ картинку пополамъ, попеременно то сдвигать, то раздвигать половины.

Послѣ этого понятно, какимъ образомъ степень сведенія зрительныхъ осей можетъ компенсировать измѣненія угловъ зрѣнія: уменьшеніемъ послѣдняго для сознанія даются мотивы къ уменьшенію величины предмета въ представленіи, а совмѣстное съ этимъ разведеніе зрительныхъ осей дѣйствуетъ въ обратномъ направленіи; при увеличеніи угла зрѣнія все происходитъ разумѣется наоборотъ.

Участіе аккомодативныхъ движеній въ представленіи о величинѣ предметовъ наблюдать можно конечно только при смотрѣніи однимъ глазомъ, потому что иначе въ явленіе не-

избѣжно замѣшивается моментъ сведенія осей. Вотъ форма основнаго опыта: на бѣломъ листѣ бумаги въ разстояніи полуаршина отъ глаза (другой долженъ быть закрытъ) рисуется маленькое черное круглое пятно, величиною напр. съ горошину; глазъ приспособляется то къ этому пятну, то къ болѣе близкому предмету (для послѣдней цѣли можно взять хоть булавку, которую наблюдатель держитъ въ рукѣ такъ, чтобы головка ея лежала почти въ направленіи зрительной оси глаза, фиксирующаго пятно); при послѣднемъ условіи пятно явственно сокращается не смотря на то, что оно даетъ тогда расплывшійся образъ на сѣтчаткѣ, вслѣдствіе круговъ свѣторазсѣянія *). Противуположная форма опыта, т. е. увеличеніе пятна при аккомодаціи глаза вдаль, не употребляется потому, что здѣсь свѣторазсѣяніе принимаетъ въ увеличеніи предмета не обратное, а прямое участіе, слѣдовательно опытъ не имѣетъ непосредственно-доказательной силы. Но конечно и одной первой формы совершенно достаточно, чтобы убѣдить всякаго въ описываемомъ значеніи аккомодативныхъ движеній. Притомъ всякому безъ дальнѣйшихъ разсужденій понятно, что въ зрительно-мышечной ассоціаціи аккомодація вблизь эквивалентна большему сведенію зрительныхъ осей и наоборотъ. Наконецъ, послѣ всего, что до сихъ поръ было говорено о значеніи мышечныхъ движеній въ дѣлѣ развитія пространственныхъ представленій, нечего и говорить объ томъ, что и въ нашемъ случаѣ движенія вступаютъ въ ассоціацію не въ формѣ движеній, а въ формѣ сопровождающихъ ихъ ощущеній.

---

*) Въ доказательство того же самаго прежде приводился еще опытъ кажущагося сокращенія и увеличенія свѣтоваго слѣда въ закрытомъ глазу при измѣненіи его аккомодаціи вблизь или вдаль. Но при этихъ опытахъ нельзя ручаться, чтобы аккомодативныя усилія не влекли за собой передвиженій глаза кнутри или кнаружи; а такъ какъ послѣднія въ свою очередь измѣняютъ видимую величину предметовъ, то опытъ и лишается доказательной силы.

Итакъ, представленія о величинѣ видимыхъ предметовъ опредѣляются у взрослаго человѣка угломъ зрѣнія + степенью сведенія зрительныхъ осей и величиною аккомодативныхъ движеній.

Нужно впрочемъ замѣтить, что компенсирующее дѣйствіе послѣднихъ двухъ моментовъ (особенно послѣдняго изъ нихъ) заключено между очень тѣсными предѣлами, и для далекихъ предметовъ дѣлается вовсе незамѣтнымъ. Тогда измѣненія угловъ зрѣнія становятся единственными руководителями сознанія и вытекающія отсюда сокращеніе и увеличеніе размѣровъ видимыхъ предметовъ дѣлаются неотразимыми. Длинныя улицы или аллеи кажутся по этому ограниченными сходящимися линіями; дома, по бокамъ улицъ кажутся постепенно понижающимися; сосновый боръ на скатѣ очень высокой горы кажется травой и проч.

Развитіе представленій объ удаленіи предметовъ.

§ 61. Изъ всѣхъ сторонъ пространственнаго видѣнія представленія о положеніи предметовъ внѣ насъ имѣютъ самую сложную исторію развитія, потому что они опредѣляются, какъ мы увидимъ, множествомъ чрезвычайно разнообразныхъ моментовъ. Но особенно трудно для пониманія начало этаго развитія. Объ немъ можно говорить лишь гадательно, такъ какъ выше, изъ фактовъ, представляемыхъ прозрѣвшими слѣпо-рожденными, мы видѣли, что первичное поле зрѣнія человѣка не должно имѣть размѣровъ въ глубину, слѣдовательно въ глазу новорожденнаго нѣтъ готовыхъ условій для перцепціи предметовъ отдѣльно отъ своего тѣла. Я полагаю, что первые задатки къ развитію этой способности заключаются уже въ самомъ способѣ обращенія съ новорожденными. По мѣрѣ того, какъ они выучиваются смотрѣть на лицо матери (въ теченіи первыхъ двухъ мѣсяцевъ) и управлять движеніями рукъ, лицо это вызываетъ въ нихъ то чисто зрительныя ощущенія, — когда оно удалено отъ глазъ ребенка,—то сочетаніе зрительныхъ ощущеній съ осязатель-

ными, — когда лицо матери касается лица ребенка. Отъ частаго повторенія такихъ перемѣнъ не могутъ не развиться условія для отличенія другъ отъ друга случаевъ, когда предметъ дѣйствуетъ на глаза издали и когда онъ касается лица. А потомъ въ зрительно-осязательныхъ ощущеніяхъ отъ своихъ рукъ, когда онѣ двигаясь, встрѣчаются съ внѣшними предметами, новорожденный находитъ новые и болѣе осязательные мотивы для отдѣленія послѣднихъ отъ своего тѣла. Работа эта продолжается мѣсяцы; и вотъ наконецъ ребенокъ начинаетъ, какъ говорится, тянуться къ видимымъ имъ предметамъ. Это явный знакъ, что онъ видитъ ихъ внѣ себя; но тогда онъ умѣетъ уже и смотрѣть, т. е. сводить на предметы зрительныя оси глазъ, и держать вещи въ рукахъ и наконецъ сообразовать движенія послѣднихъ съ направленіемъ видимыхъ предметовъ (ребенокъ тянется въ направлени къ нимъ). Другими словами, зрительные акты такихъ дѣтей являются уже не одинокими, а въ сопровожденіи цѣлаго ряда мышечныхъ и осязательныхъ ощущеній, которыя служатъ какъ бы провѣркою результатамъ первыхъ.

Такимъ образомъ, первичныя условія къ видѣнію предметовъ внѣ тѣла лежатъ по всей вѣроятности въ сочетаніи зрительныхъ ощущеній съ мышечными и осязательными *). Гельмгольтцъ разсказываетъ про себя фактъ, который по моему мнѣнію (онъ не анализируетъ этого факта) чрезвычайно сильно говоритъ въ пользу этой мысли. Поставивъ себѣ задачей свести зрительныя оси закрытыхъ глазъ

*) Мысль эту можно считать почти несомнѣнной истиной, если принять во вниманіе способъ развитія разбираемой способности у слѣпорожденныхъ. Они, какъ всякій знаетъ, обладаютъ пространственнымъ чувствомъ на длину своей руки въ неменьшей степени чѣмъ зрячіе, и это происходитъ оттого, что въ этихъ предѣлахъ они могутъ руководствоваться указаніями и мышечнаго и осязательнаго чувства своей руки — органа наиболѣе приспособленнаго къ оцѣнкѣ удаленій близкихъ предметовъ.

на кончикъ карандаша, который онъ держалъ въ рукѣ въ извѣстномъ разстояніи отъ лица, этотъ изслѣдователь не безъ удивленія замѣтилъ, что цѣль достигается вѣрнѣе, если кончикъ карандаша тереть кончикомъ одного изъ пальцевъ. [Удача выражается здѣсь тѣмъ, что наблюдаемый палецъ видится одиноко; въ противномъ случаѣ онъ двоится]. Изъ этаго очевидно слѣдуетъ, что степень удаленія предмета познается вѣрнѣе, если къ руководящему мышечному чувству руки присоединяется еще осязательное ощущеніе.

Дальнѣйшее развитіе способности видѣть предметы внѣ себя ведетъ уже къ оцѣнкѣ ихъ абсолютныхъ удаленій отъ нашего тѣла. Здѣсь руководящіе моменты уже ясны. Они даны тѣми измѣненіями въ двигательныхъ снарядахъ глазъ, которыя соотвѣтствуютъ различнымъ удаленіямъ отъ нихъ предметовъ, т. е. различными степенями сведенія зрительныхъ осей и аккомодативныхъ движеній. Не нужно впрочемъ думать, что эти моменты дѣйствуютъ при развитіи разбираемой способности одни — они очевидно провѣряются другими: когда предметы лежатъ на длину руки, величина измѣненій въ двигательныхъ снарядахъ глазъ, необходимая для яснаго видѣнія, провѣряется (ассоціируется) мышечно-осязательнымъ чувствомъ руки; когда предметы лежатъ внѣ длины послѣдней, провѣрочный моментъ дается передвиженіями всего тѣла отъ мѣста наблюденія къ самому предмету и пр. Только при условіи, когда различныя степени двигательныхъ измѣненій въ глазу заучены подъ контролемъ названныхъ моментовъ, первыя могутъ уже служить руководителями въ оцѣнкѣ разстояній и безъ посредства послѣднихъ; другими словами, человѣкъ получаетъ способность, стоя на мѣстѣ и не двигая руками, опредѣлять удаленія видимыхъ предметовъ только изъ степени сведенія зрительныхъ осей и аккомодативныхъ движеній.

Основной опытъ, которымъ доказывается для взрослаго

человѣка зависимость его представленій объ удаленіи видимыхъ предметовъ отъ степени сведенія зрительныхъ осей, тотъ же самый, который изображенъ въ предъидущемъ параграфѣ на рис. 71 *). При условіи, когда вслѣдствіе усиливающагося сведенія осей, стереоскопическій образъ предметовъ *aa* становится меньше, кажущееся удаленіе его отъ глазъ тоже уменьшается, и наоборотъ.

Не менѣе остроуменъ опытъ, которымъ Гельмгольтцъ хотѣлъ провѣрить зависимость представленій объ удаленіи предметовъ отъ степени аккомодаціи. Въ закрытомъ днѣ вычерненной изнутри трубки онъ сдѣлалъ два параллельныхъ прорѣза и вставилъ въ одинъ изъ нихъ красное стекло, а въ другое синее. Чтобы видѣть ясно черезъ полость трубки (т. е. съ одинаковаго разстоянія) каждую щель въ отдѣльности, для красной нужна болѣе сильная степень аккомодаціи, чѣмъ для синей, потому что красные лучи менѣе преломляемы. На этомъ основаніи Гельмгольтцъ ожидалъ, что красная щель будетъ казаться ближе синей. Это впечатлѣніе иногда и получалось, но съ большимъ трудомъ; когда же онъ сдѣлалъ красную щель шире синей, обманъ происходилъ чаще, потому что увеличеніе предмета было новымъ мотивомъ для сознанія къ локализаціи красной щели на болѣе близкое разстояніе.

Кромѣ того Вундтъ старался измѣрить прямыми опытами, насколько вѣрно можетъ человѣкъ оцѣнивать удаленія предметовъ, руководствуясь аккомодативными измѣненіями одного глаза, или степенью сведенія зрительныхъ осей обоихъ. Ради первой цѣли онъ заставлялъ наблюдателя смотрѣть черезъ отверстіе неподвижной ширмы на вертикальную черную нить,

*) У Уитстона, въ его первоначальномъ опытѣ, разныя степени сведенія зрительныхъ осей вызывалось не передвиженіями предметовъ *aa* по вертикальной сторонѣ ящика, а измѣненіями угла ABC между зеркалами: когда этотъ уголъ уменьшался, при неподвижности *aa*, оси глазъ дѣлались болѣе сходящимися и наоборотъ.

передвигавшуюся по скалѣ съ дѣленіями взадъ и впередъ и имѣвшую позади себя равномѣрно окрашенный бѣлый фонъ. Оказалось, что, руководясь одними аккомодативными измѣненіями, человѣкъ почти вовсе не могъ опредѣлять абсолютныхъ отстояній нити; но приближеніе и удаленіе ея онъ замѣчалъ — первое вообще яснѣе втораго и тѣмъ тоньше (т. е. меньшую степень передвиженія), чѣмъ ближе лежала къ глазу передвигающаяся нить.

Для опытовъ съ обоими глазами, въ неподвижной ширмѣ была прорѣзапа горизонтальная щель; для того же, чтобы глаза видѣли только середину нити, верхній и нижній край щели, со стороны противоположной наблюдателю, имѣли горизонтальные выступы. Кромѣ того, для оцѣнки абсолютныхъ удаленій, наблюдателю давалась въ руки линейная мѣрка съ дѣленіями на цептиметры. Ошибки были слѣдующаго рода:

Истинное удаленіе.	Оцѣнка.
180	120
160	92
140	78
120	58
100	48
90	47
80	47
70	37
50	22
40	25

[Этимъ ошибкамъ нельзя разумѣется придавать значенія величинъ, обязательныхъ для всякаго человѣка — въ оцѣнкахъ подобнаго рода играетъ, какъ извѣстно, большую роль навыкъ].

Чувствительность глаза къ передвиженіямъ нити, т. е. къ измѣненіямъ разстояній, оказалась наоборотъ чрезвычайно

тонкою. При удаленіи нити на 180 цм. замѣчались передвиженія ея уже въ 3,5 цм. При фиксаціи глазами точки въ разстояніи 180 цм., каждый глазъ повернутъ кнутри на 1°1', а приближеніе нити на длину 3,5 цм. соотвѣтствуетъ пер движенію ея образовъ въ каждомъ глазу только на 72''. Видѣніе такой величины лежитъ, по замѣчанію Гельмгольтца, на границѣ видѣнія величинъ вообще.

Нечего и говорить кажется, что измѣненія двигательныхъ снарядовъ глаза входятъ въ представленія объ удаленіи предметовъ не какъ движенія, а какъ сопутствующія послѣднимъ ощущенія.

Кромѣ этихъ главныхъ моментовъ, въ представленіяхъ объ удаленіи предметовъ принимаютъ непосредственное участіе еще другіе, которые можно назвать косвенными. Такъ, при разсматриваніи знакомыхъ по величинѣ, но отдаленныхъ предметовъ, когда измѣненія угловъ зрѣнія не могутъ уже компенсироваться для сознанія дѣятельностью двигательныхъ, аппаратовъ глаза, человѣкъ судитъ объ степени удаленія этихъ предметовъ между прочимъ по кажущемуся уменьшенію ихъ размѣровъ; и хотя сужденія эти суть очевидно продукты психическаго опыта, но результатъ ихъ входитъ въ представленіе непосредственно. Это всего лучше видно изъ того, что при разсматриваніи отдаленныхъ предметовъ въ увеличительную зрительную трубку предметы кажутся наблюдателю не увеличенными, а приближенными. Вообще связь между постепеннымъ удаленіемъ предметовъ и уменьшеніемъ ихъ видимыхъ размѣровъ, вслѣдствіе непомѣрной частоты повторенія условій къ ея наблюденію, до такой степени укрѣпляется въ сознаніи, что нерѣдко бываетъ источникомъ очень странныхъ обмановъ зрѣнія. — Извѣстно напр., что небесный сводъ кажется намъ не сферическимъ, а сплюснутымъ сверху, куполомъ; поэтому точки его, ближайшія къ горизонту, кажутся намъ вообще болѣе удаленными, чѣмъ тѣ,

которыя лежатъ ближе къ зениту [это объясняютъ тѣмъ, что по радіусамъ свода, направляющимся къ горизонту, лежатъ видимые предметы, а по вертикальнымъ нѣтъ; въ сознаніи сравнивается слѣдовательно сложная и болѣе опредѣленная величина съ простою и менѣе опредѣленною; при этомъ, перевѣсъ, какъ мы знаемъ, всегда бываетъ на сторонѣ первой величины]. Съ другой стороны, наиболѣе знакомые намъ размѣры луны, которые мы не можемъ притомъ не считать постоянными (все равно какъ высоту роста всякаго человѣка, размѣры даннаго стола и пр. мы не считаемъ измѣняющимися), соотвѣтствуютъ средней высотѣ ея стоянія на небѣ (потому что мы видимъ луну въ этомъ положеніи всего чаще). Соотвѣтственно этому размѣры луны кажутся намъ больше при восходѣ ея, когда она близка къ горизонту, чѣмъ при высокомъ стояніи на небѣ.

Этотъ обманъ выступаетъ особенно рѣзко тогда, если нижніе слои воздуха наполнены мглою, потому что мгла, окутывающая предметы, составляетъ для нашего сознанія, воспитаннаго ежедневнымъ опытомъ, новый признакъ дали. Она насильственно удлинняетъ отстоянія видимыхъ предметовъ, и потому въ свою очередь бываетъ источникомъ обмановъ. — Рѣка, покрытая туманомъ, кажется плывущему по ней человѣку всегда значительно шире. Въ ясную погоду горы, имѣющія рѣзкія очертанія, кажутся несравненно ближе и меньше, чѣмъ тѣже горы, покрытыя мглою и пр.

Къ моментамъ, принимающимъ непосредственное участіе въ развитіи представленій объ удаленіи предметовъ, Гельмгольтцъ причисляетъ наконецъ продукты наблюденій надъ различіями въ быстротѣ и направленіи кажущихся передвиженій предметовъ, когда передвигается все наше тѣло, или только глаза и голова. Условія для такихъ наблюденій даны у человѣка на каждомъ шагу, и потому продукты ихъ, подобно вышеописаннымъ моментамъ, дѣйствительно могутъ при-

нимать непосредственное участіе въ развитіи разбираемыхъ представленій, хотя на первый взглядъ и кажется, что подобныя наблюденія съ ихъ выводами могутъ быть только актами чистаго мышленія. Въ пользу непосредственнаго участія этихъ продуктовъ опыта въ развитіи представленій объ удаленіи предметовъ приводится слѣдующее наблюденіе Дове: человѣку, ѣдущему очень быстро по желѣзной дорогѣ, мелькающіе мимо близкіе предметы кажутся иногда уменьшенными въ своихъ размѣрахъ; это происходитъ отъ того, что, вслѣдствіе значительной быстроты передвиженія такихъ предметовъ, человѣкъ судитъ фальшиво объ ихъ удаленіи, т. е. считаетъ ихъ къ себѣ ближе, чѣмъ слѣдуетъ.

Больше однако, чѣмъ различія въ быстротѣ двигающихся мимо насъ предметовъ, вліяетъ на представленіе объ удаленіи ихъ то обстоятельство, что при передвиженіи тѣла ближайшіе предметы покрываютъ собою поочередно дальнѣйшіе. Этотъ фактъ безъ всякаго сомнѣнія даетъ непосредственное представленіе о томъ, что всякій закрывающій предметъ лежитъ къ намъ ближе закрываемаго.

Такова сумма главнѣйшихъ моментовъ, которыми руководится взрослый человѣкъ при опредѣленіи абсолютныхъ удаленій видимыхъ предметовъ и при сравненіи ихъ между собою по два. Ради послѣдней цѣли онъ долженъ однако дѣлать опытъ: фиксировать сначала одинъ изъ сравниваемыхъ (по удаленію) предметовъ, а потомъ другой; сознаваемая при этомъ разница въ степени аккомодативныхъ движеній, или въ степени сведенія зрительныхъ осей, равно какъ разница въ степени освѣщенія предметовъ, ихъ кажущейся величинѣ и пр., и рѣшаютъ дѣло.

Послѣ этого слѣдовало бы ожидать, что когда поле зрѣнія человѣка наполнено множествомъ отдѣльныхъ и различно удаленныхъ предметовъ (какъ это всего чаще и бы-

ваетъ), ему приходится дѣлать множество опытовъ ради опредѣленія ихъ удаленій; — и тѣмъ болѣе, если всѣ, или даже нѣкоторые изъ этихъ предметовъ, имѣютъ тѣлесную форму. Уже для одного такого предмета нуженъ повидимому цѣлый рядъ послѣдовательныхъ фиксацій, чтобы опредѣлить, какія точки его лежатъ всего ближе къ наблюдателю и какія дальше. А между тѣмъ очень простой опытъ убѣждаетъ насъ, что человѣку достаточно одного взгляда на цѣлый рядъ тѣлесныхъ предметовъ, чтобы видѣть не только тѣлесность формы каждаго изъ нихъ въ отдѣльности, но и различія въ степени ихъ удаленій. Если наприм. въ совершенно темной комнатѣ поставить передъ глазами человѣка на различныхъ разстояніяхъ кубъ, шаръ, призму, конусъ и пр. и освѣтить ихъ одной электрической искрой, то человѣкъ узнаетъ и эти формы и отличитъ, которая изъ нихъ стоитъ всѣхъ ближе, которая всѣхъ дальше. Въ такой безконечно малый промежутокъ времени, какова продолжительность одной электрической искры, человѣку нѣтъ возможности измѣнить направленіе зрительныхъ осей или степень аккомодаціи даже одинъ разъ, а между тѣмъ онъ видитъ разницы въ удаленіи милліоновъ точекъ разомъ. Значитъ, въ зрительномъ аппаратѣ взрослаго человѣка должны существовать, для опредѣленія относительныхъ удаленій видимыхъ предметовъ и тѣлесности формъ, еще иныя условія сверхъ описанныхъ выше.

Условія эти тождественны между собою для обоихъ упомянутыхъ случаевъ видѣнія, потому что оба они сводятся на способность глазъ видѣть разомъ множество различій въ относительныхъ удаленіяхъ точекъ. Поэтому оба случая мы будемъ разсматривать вмѣстѣ.

Видѣніе тѣлесности формъ.

§ 62. Изобрѣтателю стереоскопа, Уитстону, принадле-

житъ заслуга открытія основнаго условія видѣнія тѣлесности формъ. Выходя изъ мысли, что перспективныя изображенія всякаго тѣлеснаго предмета, лежащаго предъ глазами, должны быть различны на сѣтчаткахъ каждаго изъ глазъ (въ самомъ дѣлѣ для праваго глаза всегда бываетъ болѣе открыта правая сторона предмета, а для лѣваго — лѣвая), онъ устроилъ слѣдующій опытъ: отъ одного и того же предмета были приготовлены два перспективныхъ рисунка въ такой формѣ, въ какой данный предметъ долженъ рисоваться на сѣтчаткахъ смотрящихъ на него глазъ; и за тѣмъ каждый изъ рисунковъ былъ помѣщенъ передъ соотвѣтствующимъ глазомъ такимъ образомъ, чтобы правый глазъ видѣлъ только правый рисунокъ, а лѣвый — лѣвый. При условіи, когда соотвѣтствующія точки обоихъ рисунковъ падали на желтыя пятна обѣихъ сѣтчатокъ, рисунки сливались въ одинъ общій поразительно рельефный образъ, какъ бы выступающій изъ плоскости бумаги и лежащій по срединѣ между обоими рисунками *).

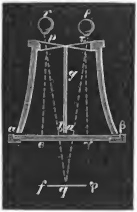
Этотъ опытъ можно сдѣлать и безъ помощи всякихъ инструментовъ, если нарисовать оба перспективныя изображенія предмета такимъ образомъ, чтобы средины ихъ лежали другъ отъ друга въ разстояніи узловыхъ точекъ обоихъ глазъ, и затѣмъ смотрѣть на средины рисунковъ параллельными осями. И при этомъ условіи происходитъ стереоскопическое сліяніе образовъ; но такъ какъ при этомъ каж-

*) На этомъ основаніи въ фотографическихъ карточкахъ, употребляемыхъ для стереоскопа, половинки никогда не бываютъ тождественны между собою. Онѣ снимаются съ предмета изъ двухъ различныхъ точекъ, или одной камерой-обскурой послѣдовательно другъ за другомъ, или, что лучше, двумя инструментами разомъ, расположенными другъ отъ друга въ разстояніи промежутка между человѣческими глазами. При сниманіи для стереоскопа далекихъ видовъ, разстояніе это нужно однако брать значительнѣе, потому что иначе разницы между перспективными образами будутъ слишкомъ ничтожны, а отъ этого страдаетъ рельефность (причины этому см. ниже).

дый изъ рисунковъ бываетъ доступенъ и правому и лѣвому глазу разомъ, то по сторонамъ стереоскопическаго образа, лежащаго въ срединѣ, бываютъ видны еще два боковыхъ нестереоскопическихъ изображенія. Для удаленія послѣдняго неудобства, равно какъ для устраненія необходимости со стороны наблюдателя фиксировать рисунки параллельными осями, что безъ привычки очень трудно, устроены инструменты, извѣстные подъ именемъ стереоскоповъ.

Первоначальная форма ихъ есть извѣстный уже читателю зеркальный стереоскопъ Уитстона (см. выше рис. 71); инструментъ же, обыкновенно употребляемый подъ именемъ стереоскопа, устроенъ Брьюстеромъ и изображенъ въ продольномъ разрѣзѣ на рис. 72. Здѣсь непрозрачная перегородка *g* устраняетъ возможность боковыхъ нестереоскопическихъ изображеній, такъ какъ она закрываетъ лѣвый рисунокъ отъ праваго глаза и наоборотъ; необходимость же фиксированія средины обоихъ рисунковъ (*c* и *γ*) параллельными осями устранена присутствіемъ стеклянныхъ призмъ *p* и *π* (призмы эти замѣняются обыкновенно полу-чечевицами, черезъ что достигается увеличеніе стереоскопическаго образа). — По своему положенію, изображенному на рисункѣ, и въ силу

Рис. 72.



отклоняющей способности, послѣднія допускаютъ фиксированіе срединъ рисунковъ (*c* и *γ*) сходящимися осями зрѣнія; а это значительно облегчаетъ наблюденіе, тѣмъ болѣе, что безъ нихъ глазамъ приходится соединять смотрѣніе параллельными осями съ аккомодаціей вблизь.

Другаго значенія, кромѣ устраненія неудобствъ наблюденія, обыкновенные стереоскопы однако не имѣютъ — они

нисколько не усиливаютъ рельефности образовъ противъ случая стереоскопическаго сліянія послѣднихъ простыми глазами.

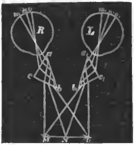
Дальнѣйшая возможность искуственнаго стереоскопическаго видѣнія заключается въ томъ, чтобы фиксировать простыми глазами точку, лежащую ближе, чѣмъ плоскость перспективныхъ рисунковъ. Но для этого нужно конечно, чтобы продолженіе зрительныхъ осей за мѣсто фиксируемой точки падало въ средины рисунковъ. При этомъ въ правомъ глазу рисуется изображеніе лѣвой картины, а въ лѣвомъ правой; поэтому и самые рисунки должны быть положены накрестъ; иначе вмѣсто рельефнаго, т. е. выпуклаго, образа получается полая форма. Чтобы понять послѣднее, стоитъ только вдуматься немного въ различія условій видѣнія какаго нибудь полаго тѣла снаружи и изнутри. — Въ первомъ случаѣ правому глазу больше доступна правая сторона предмета, а лѣвому лѣвая; при разсматриваніи же внутренности полаго тѣла бываетъ обратное. Если напр. прямо передъ глазами, въ направленіи срединной плоскости тѣла, лежитъ четыреугольный призматическій брусокъ, то каждый изъ глазъ видитъ обращенное къ нимъ основаніе бруска и кромѣ того правому открыта нѣсколько его боковая правая поверхность, а лѣвому лѣвая. Если же вмѣсто бруска взять четыреугольный жолобъ, то правому глазу будетъ видна лѣвая боковая поверхность и наоборотъ. Стало быть, если при стереоскопическомъ сліяніи перспективныхъ рисунковъ бруска правая боковая поверхность его перемѣстится для праваго глаза влѣво отъ основанія, а лѣвая для лѣваго глаза вправо; то понятно, что выпуклая въ сущности форма должна будетъ казаться полой. Въ инструментѣ, извѣстномъ подъ именемъ псевдоскопа и устроенномъ Уитстономъ, это извращеніе стереоскопическаго изображенія достигается тѣмъ, что между половинками стереоскопическаго рисунка и глазами наблюдателя помѣщаются прямоугольныя призмы такимъ образомъ,

чтобы каждый изъ глазъ смотрѣлъ въ направленіи параллельномъ плоскости гипотенузы. При этомъ условіи, на основаніи законовъ полнаго внутренняго отраженія (см. рис. 73), всякій предметъ *e*, лежащій въ направленіи зрительной оси, параллельной плоскости гипотенузы, не измѣнитъ для глаза *a* своего положенія, т. е. будетъ видѣться на своемъ мѣстѣ; предметы же лежащіе вправо отъ зрительной оси, напр. e', будутъ казаться перемѣщенными влѣво; а тѣ, которые лежатъ влѣво, перемѣстятся вправо. Такое же, и

Рис. 73.



Рис. 74.



притомъ совершенно симметричное, перемѣщеніе боковыхъ точекъ будетъ имѣть мѣсто и для другаго глаза; слѣдовательно оба образа на сѣтчаткѣ сохранятъ истинное перспективное отношеніе между собою, но только оно будетъ извращено для точекъ, лежащихъ по сторонамъ зрительныхъ осей. Схематическая форма псевдоскопа представлена на рис. 74. *MN* и *NO* суть половинки стереоскопическаго рисунка; точка *N* видится на своемъ мѣстѣ; всѣ же остальныя перемѣщаются справо налѣво и наоборотъ.

Изъ инструментовъ съ стереоскопическимъ дѣйствіемъ слѣдуетъ еще упомянуть о телестереоскопѣ Гельмгольтца и микроскопѣ-стереоскопѣ Нашѐ.

Основная мысль перваго инструмента заключается въ слѣдующемъ. Такъ какъ тѣлесность предметовъ обусловливается разностью ихъ перспективныхъ образовъ на сѣтчаткахъ, то понятно, что она выступаетъ тѣмъ рѣзче, чѣмъ ближе лежитъ къ глазамъ данный предметъ, и на-

Рис. 75.

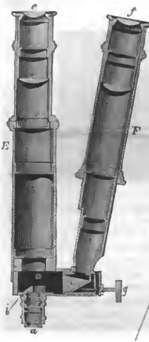


оборотъ (кто не знаетъ въ самомъ дѣлѣ, что тѣлесность очень далекихъ предметовъ почти вовсе неощутима?). Дѣло другаго рода, если бы разстояніе между глазами у человѣка было больше,—тогда и далекіе предметы давали бы ощутимо различные перспективные образы на сѣтчаткахъ, и видѣлись бы тѣлесно. Телестереоскопъ и имѣетъ цѣлью увеличить названное разстояніе. Цѣль эта достигается (рис. 75) въ немъ сочетаніемъ четырехъ зеркалъ, представленныхъ на рисункѣ въ разрѣзѣ. Зеркала эти отражаютъ параллельные лучи отъ далекихъ предметовъ въ глаза наблюдателя *r* и *ρ* въ направленіи ломаныхъ линій *cbar* и *γβaρ*. При этомъ условіи глазъ *r* видитъ далекіе предметы такимъ образомъ, какъ будто онъ находился въ *r'*, а глазъ *ρ* — какъ будто онъ былъ въ *ρ'*. Разстояніе между послѣдними точками значительно больше разстоянія между глазами, поэтому и разница между перспективными образами больше, а слѣдовательно и рельефность предметовъ сильнѣе. Этотъ инструментъ и употребляется съ цѣлью усиленія тѣлесности предметовъ при разсматриваніи далекихъ ландшафтовъ.

Въ микроскопѣ-стереоскопѣ Нашѐ, представленномъ на рис. 76 въ вертикальномъ разрѣзѣ, тѣлесность формъ микроскопическихъ объектовъ получается слѣдующимъ образомъ. Лучи свѣта, идущіе отъ объекта, проходятъ черезъ обыкновенную систему объективовъ *a*. При выходѣ отсюда, одна половина лучей идетъ прямо по трубкѣ *E* къ окуляру *e*, а другая попадаетъ въ прямоугольную призму *b*, отражается плоскостью гипотенузы въ направленіи къ другой призмѣ *c*, отражается здѣсь еще разъ и попадаетъ такимъ образомъ въ трубку F къ другому глазу. Такъ какъ микроскопы даютъ вообще точечные образы только отъ тѣхъ слоевъ объекта, которые лежатъ въ фокусной плоскости ин-

струмента; точки же, лежащія ближе или дальше этой плоскости образуютъ маленькіе круги свѣторазсѣянія;—то въ нашемъ инструментѣ и происходитъ именно раздвоеніе каждаго изъ послѣднихъ (т. е. круговъ свѣторазсѣянія): одна половина ихъ попадаетъ въ правый глазъ, а другая въ лѣвый. Такъ какъ притомъ каждая изъ половинокъ даннаго круга свѣторазсѣянія лежитъ различно, то отсюда и происходитъ стереоскопическій эффектъ. Винтъ *g* въ инструментѣ имѣетъ цѣлью приближать и удалять трубку *F* вмѣстѣ съ призмой *c* къ трубкѣ *E*, чтобы измѣнять разстояніе между окулярами *e* и *f*, соотвѣтственно разницамъ разстояній между зрачками различныхъ наблюдателей.

Рис. 76.



Описавъ главнѣйшія формы инструментовъ съ стереоскопическимъ дѣйствіемъ, намъ слѣдуетъ остановиться теперь на тонкости стереоскопическаго видѣнія. Въ этомъ отношеніи Дове приводитъ слѣдующіе факты.

Если двѣ медали выбиты однимъ и тѣмъ же штемпелемъ изъ двухъ различныхъ металловъ, то, несмотря на ихъ кажущуюся тождественность, онѣ не вполнѣ сливаются между собою подъ стереоскопомъ. Дѣло объясняется тѣмъ, что при чеканкѣ металлы сдавливаются, а потомъ различно расширяются, соотвѣтственно различію упругостей; поэтому рисунки бываютъ въ сущности неравны по величинѣ, хотя глазу и нѣтъ возможности этого замѣтить. При сличеніи подъ стереоскопомъ фальшивыхъ бумажекъ съ настоящими, сейчасъ узнаются разницы въ разстояніяхъ между буквами соотвѣтственныхъ словъ, потому что буквы эти не сливаются между собою.

Еще нагляднѣе высказывается чрезвычайная тонкость сте-

реоскопическаго видѣнія, (или что все равно, чрезвычайная тонкость опредѣленія глазами малѣйшихъ разницъ въ относительномъ удаленіи точекъ) въ слѣдующемъ опытѣ Гельмгольтца. Въ концы трехъ горизонтально лежащихъ четырегранныхъ брусковъ онъ втыкаетъ вертикально три булавки такимъ образомъ, чтобы онѣ отстояли другъ отъ друга неболѣе какъ на 12 мм., и старается, глядя на булавки обоими глазами съ разстоянія въ 340 мм., установить бруски такимъ образомъ, чтобы всѣ 3 булавки лежали въ одной плоскости. При условіи, когда зрительная плоскость (т. е. плоскость проведенная черезъ оси зрѣнія обоихъ глазъ) была перпендикулярна къ плоскости булавокъ, задача эта выполнялась съ чрезвычайной точностью — передвигая взадъ и впередъ средній брусокъ, онъ не ошибался ниразу даже на половину толщины булавки, т. е. на $^1/_4$ мм.; уклоненія же ея изъ плоскости боковыхъ булавокъ на цѣлую толщину замѣчались глазами совершенно ясно. Это обстоятельство дало Гельмгольтцу возможность измѣрить приблизительно тонкость стереоскопическаго видѣнія. Если *a*, *b* и *c* (рис. 77) суть вертикально стоящія булавки, и глаза замѣчаютъ перемѣщеніе булавки *a* въ a^1 на длину $^1/_2$ мм., то, проицируя aa^1 изъ обѣихъ узловыхъ точекъ на плоскость *cab*, легко вычислить величину *mn*, когда извѣстно разстояніе между узловыми точками *kk* и отстояніе *ap*. Въ опытѣ Гельмгольтца первая величина $= 68$ мм., а вторая $= 340$ мм.; стало быть (изъ подобія треугольниковъ) $mn = {}^1/_2 \cdot {}^{68}/_{340} = {}^1/_{10}$ мм., а *ma* и $na = {}^1/_{20}$. Когда же извѣстны *ma* и *an*, то легко найти величины перемѣщенія образовъ *a* на сѣтчаткахъ, когда *a* переходитъ въ a^1. Эти величины суть $\alpha\alpha'$, и онѣ находятся изъ пропорціи:

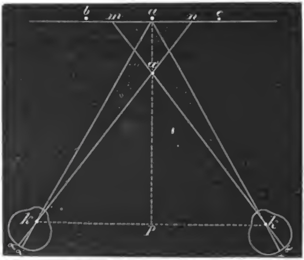
$^1/_{20} : 340 = x : 15$; отсюда $x = \alpha\alpha' = 0{,}0022$ мм.;

т. е. глаза при совмѣстномъ смотрѣніи опредѣляютъ малѣйшія разницы въ относительныхъ удаленіяхъ

точекъ съ такою же тонкостью, съ какою каждый глазъ въ отдѣльности опредѣляетъ наименьшія разстоянія между двумя, лежащими другъ подлѣ друга, точками.

Что касается наконецъ до опредѣленія абсолютныхъ разстояній при искуственномъ стереоскопическомъ видѣніи, то случай тѣлеснаго сліянія рисунковъ безъ помощи инстру-

Рис. 77.



ментовъ, посредствомъ смотрѣнія параллельными осями, заключаетъ въ себѣ съ виду нѣчто пародоксальное. — Параллельному положенію зрительныхъ осей соотвѣтствуетъ безконечное удаленіе предмета, а между тѣмъ стереоскопическій образъ выступаетъ изъ плоскости рисунковъ, слѣдовательно кажется лежащимъ даже ближе послѣдней. Дѣло объясняется однако тѣмъ, что въ данномъ случаѣ для глазъ не исчезаетъ существованіе сплошной плоскости рисунковъ, поэтому сознаніе вынуждено проицировать тѣлесный образъ на нее. Когда въ самомъ дѣлѣ (какъ это бываетъ обыкновенно при смо-

трѣніи въ стереоскопъ) глаза не видятъ этой плоскости и передъ ними лежитъ одинъ стереоскопическій образъ, законъ зависимости абсолютныхъ удаленій предметовъ отъ степени сведенія зрительныхъ осей вступаетъ въ свои права. — По опытамъ Гельмгольтца здѣсь бываютъ точно такія же ошибки, которыя найдены Вундтомъ при прямыхъ опредѣленіяхъ абсолютныхъ удаленій предметовъ обоими глазами.

Такова сумма главнѣйшихъ фактовъ искуственнаго стереоскопическаго видѣнія *).

Изъ нихъ непоколебимо слѣдуетъ, что

1) основное условіе тѣлеснаго видѣнія формъ двумя глазами заключается въ разницѣ перспективныхъ образовъ предметовъ на обѣихъ сѣтчаткахъ; а отсюда роковымъ образомъ вытекаетъ, что

2) въ основѣ развитія способности глазъ видѣть предметы тѣлесно лежитъ родъ сравненія обоихъ образовъ на сѣтчаткахъ, поскольку всякому опредѣленному положенію двухъ однородныхъ точекъ этихъ образовъ соотвѣтствуетъ опредѣленное по направленію и удаленію положеніе точки въ пространствѣ.

Наконецъ явленія псевдоскопа явно указываютъ, что

3) въ развитіи представленій о тѣлесности формъ первенствующую роль играютъ продукты опыта. — Когда извращаются условія видѣнія, извращаются всѣ основные характеры представленія — выпуклое тѣло кажется полымъ, ближайшія точки кажутся наиболѣе удаленными и пр.

---

*) Говорить о внѣшнихъ характерахъ стереоскопическаго видѣнія, т. е. о необычайной истинности и рельефности стереоскопическихъ образовъ, я считаю совершенно излишнимъ, такъ какъ эти стороны явленій извѣстны всякому, державшему въ рукахъ обыкновенный стереоскопъ.

На послѣднихъ двухъ пунктахъ слѣдуетъ остановиться. Въ первомъ изъ нихъ высказано положеніе, что въ основѣ развитія способности видѣть предметы тѣлесно лежитъ родъ сравненія всякихъ двухъ соотвѣтствующихъ образовъ на сѣтчаткахъ. Какъ можетъ это быть, когда всякій знаетъ изъ ежедневнаго опыта, что какъ при естественномъ видѣніи тѣлесныхъ формъ такъ и при искуственныхъ стереоскопическихъ опытахъ дѣятельности обоихъ глазъ до такой степени сливаются другъ съ другомъ, что отдѣлить долю участія каждаго изъ нихъ нѣтъ возможности? Какъ понимать далѣе выраженіе сравненіе образовъ на сѣтчаткахъ, когда всякій знаетъ, что образовъ этихъ мы вообще не ощущаемъ, слѣдовательно и сравнивать ихъ не можемъ.

Отвѣтъ на первое возраженіе очень простъ. Во первыхъ, въ будущемъ параграфѣ будетъ доказано самымъ положительнымъ образомъ, что зрительныя дѣятельности обоихъ глазъ въ сущности независимы другъ отъ друга; слѣдовательно, когда содержанія ихъ полей зрѣнія не совершенно тождественны между собою, какъ это всегда бываетъ въ случаяхъ тѣлеснаго видѣнія, субстраты для сравненія всегда существуютъ. Во вторыхъ, въ нашемъ положеніи сравненіе дѣятельностей обоихъ глазъ выставлено, какъ условіе р а з в и т і я способности видѣть тѣлесно. — Въ конкретныхъ зрительныхъ актахъ взрослаго человѣка, особенно если они вызваны мгновеннымъ свѣтовымъ вліяніемъ, эта приготовительная работа естественно не ощущается, все равно, какъ въ быстрой игрѣ развитаго музыканта не чувствуется годовыхъ усилій его практики; вся механика заученія маскируется притомъ преобладающимъ эффектомъ въ конкретномъ зрительномъ актѣ — представленіемъ тѣлесности. Наконецъ въ третьихъ, сліяніе дѣятельностей обоихъ глазъ при тѣлесномъ видѣніи далеко не абсолютно. — Если наприм. при фиксаціи какого-нибудь предмета обоими глазами на поверх-

ность одного изъ нихъ попадаетъ кусочекъ слизи и помутитъ нѣсколько его поле зрѣнія, то мы тотчасъ же узнаемъ, который изъ глазъ слѣдуетъ протерѣть. Тоже бываетъ, по наблюденію Гельмгольтца, и при смотрѣніи въ стереоскопъ: на одной изъ половинокъ картины было случайно мутное пятно; слившн картинки въ стереоскопическій образъ, онъ приписалъ причину мутности одному изъ своихъ глазъ и протеръ именно тотъ, который соотвѣтствовалъ половинкѣ съ пятномъ.

И такъ, сравненіе зрительныхъ дѣятельностей обоихъ глазъ, при развитіи способности тѣлеснаго видѣнія, оказывается теоретически возможнымъ.

Чтоже касается до выраженія „сравненіе образовъ на сѣтчаткахъ,“ то оно употреблено лишь съ цѣлью согласовать положеніе 2-го пункта съ положеніемъ 1-го; въ послѣднемъ же разница между образами на сѣтчаткахъ, выставленная какъ основное условіе тѣлеснаго видѣнія, есть опытный фактъ, не допускающій перифразировки. Правильнѣе было бы замѣнить и въ томъ и въ другомъ пунктѣ выраженіе „образы на сѣтчаткахъ“ словами „поля зрѣнія;“ но вѣдь отъ этой перестановки сущность дѣла не измѣняется, такъ какъ плоскостная локализація предметовъ въ полѣ зрѣнія каждаго глаза заучается въ связи съ положеніемъ соотвѣтствующихъ образовъ на сѣтчаткѣ.

Остается еще разъяснить вторую половину 2-го пункта, т. е. рѣшить, въ чемъ должна заключаться сущность сравненія образовъ на сѣтчаткахъ, чтобы изъ него могли вытекать элементы для образованія представленій объ удаленіи различныхъ точекъ соотвѣтствующаго образамъ предмета.

Съ этой цѣлью нужно анализировать всѣ послѣдствія естественнаго (т. е. обыкновеннаго) способа разсматриванія тѣлесныхъ предметовъ, которымъ руководится не только взрослый человѣкъ, но и ребенокъ, какъ только выучивается

смотрѣть. — Искомыя чисто-зрительныя условія тѣлеснаго видѣнія очевидно должны заключаться въ какихъ-нибудь сторонахъ этихъ актовъ.

Ежедневный опытъ показываетъ намъ, что этотъ способъ заключается въ безпрерывномъ предвиженіи сведенныхъ зрительныхъ осей по поверхности разсматриваемаго предмета, но особенно по наиболѣе рѣзко выдающимся линіямъ и точкамъ, т. е. контурамъ, выступамъ и пр. При этомъ человѣкъ безпрерывно долженъ мѣнять, какъ степень аккомодаціи своихъ глазъ, такъ и степень сведенія зрительныхъ осей; и мы уже знаемъ, что путемъ заученія вытекающихъ отсюда ощущеній, въ связи съ прямыми опытами, онъ выучивается опредѣлять относительныя удаленія всякихъ двухъ сравниваемыхъ точекъ. Но рядомъ съ передвиженіями зрительныхъ осей необходимо даны передвиженія образовъ по поверхностямъ сѣтчатокъ, и предвиженія эти стоятъ по величинѣ и направленію въ опредѣленной, при томъ неизмѣнной, связи съ соотвѣтствующими перемѣщеніями точки пересѣченія зрительныхъ осей (такъ какъ послѣдняя совпадаетъ съ фиксируемою точкою, а эта лежитъ по отношенію къ своимъ образамъ на продолженіи прямыхъ, проведенныхъ отъ каждаго точечнаго образа черезъ соотвѣтствующую узловую точку глаза). Стало быть при всякомъ такомъ разсматриваніи тѣлеснаго предмета сознанію даются, въ дѣлѣ опредѣленія относительныхъ удаленій каждыхъ двухъ точекъ, постоянно два отдѣльныхъ признака разомъ — опредѣленное различіе въ дѣятельностяхъ двигательныхъ снарядовъ глаза и опредѣленное же перемѣщеніе образовъ фиксируемыхъ точекъ по поверхностямъ сѣтчатокъ. Удивительно ли послѣ этого, что при повтореніи актовъ милліоны разъ оба признака заучаются въ связи другъ съ другомъ? — Поясимъ дѣло на примѣрѣ. Положимъ, предъ глазами, въ направленіи срединной плоскости тѣла лежатъ два предмета на разныхъ разстояніяхъ и

глаза фиксируютъ дальній; при этомъ образы ближняго лежатъ кнаружи отъ желтыхъ пятенъ, и въ тоже время опредѣленная степень сведенія зрительныхъ осей даетъ элементы для представленія объ извѣстной степени удаленія фиксируемаго предмета; глаза устремляются вслѣдъ за тѣмъ на ближній, — образы дальняго предмета перемѣщаются въ каждомъ изъ глазъ кнутри отъ желтаго пятна, и тѣмъ больше, чѣмъ болѣе удаленъ ближній предметъ отъ дальняго. Не естественно-ли думать, что при той быстротѣ, съ которой глаза бѣгаютъ обыкновенно по разсматриваемымъ поверхностямъ, положенія образовъ обоихъ предметовъ заучиваются въ связи съ эффектами предшествующей и окончательной фиксаціи? Эффекты эти выражаются въ сознаніи представленіемъ, что второй изъ фиксируемыхъ предметовъ лежитъ ближе перваго, стало быть и положенія образовъ могутъ вести къ тому же заключенію. Путемъ безчисленнаго повторенія подобныхъ ассоціацій и вырабатывается наконецъ способность зрительнаго аппарата опредѣлять относительныя разницы въ удаленіи точекъ по одному лишь положенію образовъ ихъ на сѣтчаткахъ.

Весь рядъ этихъ операцій и разумѣется въ разбираемомъ нами положеніи подъ словомъ „сравненіе образовъ".

Замѣчательно однако, что эта теорія, доведенная до крайнихъ послѣдствій, ведетъ къ положеніямъ, неоправдываемымъ фактамъ дѣйствительнаго тѣлеснаго видѣнія. Изъ нея слѣдовало бы заключить въ самомъ дѣлѣ, что когда способность глазъ опредѣлять относительныя удаленія точекъ изъ одного только положенія ихъ образовъ на сѣтчаткахъ (развивающагося подъ контролемъ эффектовъ, получаемыхъ сознаніемъ изъ измѣненій двигательныхъ снарядовъ глазъ, и въ свою очередь контролирующая эти эффекты) уже готова, способность эта становится самостоятельною силою, дѣятельность которой во всѣхъ случаяхъ обязательна для сознанія.

Мы увидимъ однако, что это не безусловно вѣрно. Изъ приведеннаго выше примѣра перемѣщенія образовъ различно удаленныхъ предметовъ легко понять, что всякому сочетанію на сѣтчаткахъ точекъ, лежащихъ кнутри отъ вертикальныхъ меридіановъ, проведенныхъ черезъ желтыя пятна, должны соотвѣтствовать въ пространствѣ точки болѣе близкія къ наблюдателю, чѣмъ тѣ, которыхъ образы лежатъ кнутри отъ тѣхъ же меридіановъ; и разница въ удаленіи ихъ должна быть тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше удалены отъ послѣднихъ та и другая пара образовъ. Если принять теперь, что эти отношенія между образами становятся абсолютно обязательными для сознанія, *) то изъ этого вытекала бы невозможность правильно опредѣлять глазами положеніе лежащихъ передъ нами линій или плоскостей. Въ самомъ дѣлѣ положимъ, что прямо передъ глазами наблюдателя, перпендикулярно къ срединной плоскости его тѣла, стоитъ вертикальная стѣна и онъ смотритъ на нее, поставивъ между своими глазами перегородку, такимъ образомъ, чтобы она раздѣляла поля зрѣнія другъ отъ друга. При этомъ слѣдовало бы ожидать, что точки стѣны, по мѣрѣ удаленія ихъ отъ срединной плоскости тѣла, будутъ казаться все болѣе и болѣе уходящими въ глубь, такъ какъ соотвѣтствующіе имъ образы лежатъ дальше и дальше кнутри отъ вертикальныхъ меридіановъ сѣтчатокъ, и что слѣдовательно стѣна приметъ видъ двухъ плоскостей, сходящихся между собою подъ угломъ; но этого, какъ извѣстно, никогда небываетъ — плоскость кажется плоскостью.

Дѣло въ томъ, что способность наша переходить отъ различія въ положеніи образовъ на сѣтчаткахъ къ положенію

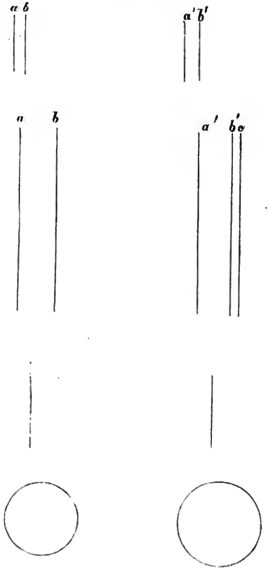
---

*) Какъ это дѣлаетъ Герингъ въ своей теоріи тѣлеснаго видѣнія (Hering's Beitr. z. Physiol. 5tes Heft. Leipz. 1864), снабжающей каждую точку сѣтчатки прирожденнымъ чувствомъ глубины (Tiefengefühl).

предметовъ въ пространствѣ развивается подъ контролемъ и въ предѣлахъ опыта, т. е. въ предѣлахъ дѣйствительнаго видѣнія такихъ предметовъ, тѣлесность которыхъ мы познаемъ не только глазами, но и другими органами чувствъ. Въ этихъ предѣлахъ разница между образами на сѣтчаткахъ дѣйствительно становится обязательною для сознанія, что и выражается неотразимостью стереоскопическаго эффекта, когда въ поляхъ зрѣнія каждаго изъ глазъ воспроизводятся впечатлѣнія, соотвѣтствующія по формѣ реальнымъ случаямъ тѣлеснаго видѣнія.

Такимъ образомъ, мы имѣемъ уже два сильныхъ довода и въ пользу положенія 3-го пункта — только-что разобранное обстоятельство и явленія псевдоскопа. — Дальнѣйшей же опорой ему могутъ служить слѣдующіе опыты съ стереоскопомъ. Въ рис. 78 изображены 4 пары объектовъ для этаго инструмента (или для стереоскопическаго слiянія простыми глазами безъ помощи стереоскопа). Въ каждой изъ нихъ разницы между образами несравненно рѣзче, чѣмъ на обыкновенныхъ фотографическихъ рисункахъ для стереоскопа; — напр. въ 1-й и 2-й парѣ, считая сверху, разстоянія между линіями *a* и *b* даже на простой глазъ неравны между собою; въ 4-й парѣ съ діаметрами круговъ таже исторія; въ 3-ей же парѣ лѣвая линія вертикальна, а правая наклонна. — И не смотря на это, половинки каждой пары сливаются стереоскопически между собою у всякаго человѣка: въ 1-й и 2-й парѣ *a* съ *a'*, *b* съ *b'*, въ 3-ей парѣ стереоскопическій образъ имѣетъ наклоненіе въ плоскости бумаги среднее между наклоненіями объектовъ, въ 4-ой парѣ слитый кругъ по величинѣ занимаетъ тоже средину между объектами. Если однако присматриваться къ слитымъ образамъ первыхъ 3-хъ паръ попристальнѣе, то въ нихъ замѣчаются слѣдующія особенности: въ первой парѣ обѣ линіи кажутся неодинаково удаленными отъ глазъ наблюдателя—правая, т. е. *b*,

Рис. 78.



повидимому дальше лѣвой; въ стереоскопическомъ образѣ 2-й пары, состоящемъ изъ 3-хъ линій (*a* сливается съ *a*', *b* съ *b*') ближе всѣхъ къ глазамъ кажется *b*, а дальше всѣхъ *c*; наконецъ стереоскопическій образъ 3-ей пары представляется линіей, которой нижній конецъ лежитъ къ глазамъ ближе верхняго. Эти-то характеры и указываютъ на то, что стереоскопическое видѣніе есть продуктъ опыта. — Въ самомъ дѣлѣ, правая линія въ слитомъ образѣ первой пары должна казаться дальше лѣвой потому, что въ ней *ab* и *a*'*b*' суть проекціи въ лѣвый и правый глазъ двухъ вертикальныхъ линій (двухъ нитей, или спицъ), стоящихъ передъ глазами, изъ которыхъ правая лежитъ дальше, лѣвой. Въ слитомъ образѣ 2-й пары линія *b* должна казаться лежащею ближе всѣхъ, а *c* наоборотъ наиболѣе удаленною потому, что половинки этой пары суть проекціи въ оба глаза четырехгранной призмы, лежащей такимъ образомъ, что лѣвый глазъ видитъ только одну ея переднюю поверхность, а правый глазъ кромѣ того еще правую боковую въ раккурсѣ. Наконецъ линіи 3-ей пары суть проекціи нити или спицы, которая отклонена верхнимъ концомъ отъ наблюдателя, но лежитъ такимъ образомъ, что одному глазу кажется вертикальной, а другому наклонной. Но какъ объяснить себѣ сліяніе круговъ 4-й пары? — Опять-таки съ точки зрѣнія пріобрѣтеннаго всякимъ человѣкомъ опыта. — Сліяніе это соотвѣтствуетъ случаю дѣйствительнаго видѣнія кружка или шара, когда тотъ или другой стоитъ нѣсколько сбоку, слѣдовательно въ различныхъ удаленіяхъ, отъ глазъ, такъ что образы его въ каждомъ изъ послѣднихъ неравны между собою.

Убѣдиться въ справедливости приведенныхъ толкованій очень легко, — стоитъ только, или усилить разницы между половинками стереоскопическаго объекта до размѣровъ, не соотвѣтствующихъ проекціямъ въ глаза дѣйствительныхъ предметовъ, или, оставивъ размѣры, нарушить въ парныхъ ри-

сункахъ характеръ проекцій одного и того же предмета какимъ нибудь придаткомъ;—стереоскопическое сліяніе дѣлается тогда невозможнымъ. Такъ, если въ 1-й парѣ *a* и *b* *a*' и *b*' соединить поперечными линіями, на разныхъ высотахъ (рис.

Рис. 79.



79), то при сліяніи ихъ получается образъ, обозначенный буквою А.

Борьба контуровъ и цвѣтовъ въ поляхъ зрѣнія обоихъ глазъ.

§ 63. Чтобы покончить съ искуственнымъ стереоскопическимъ видѣніемъ, слѣдуетъ описать еще случаи сліянія между собою такихъ объектовъ, которые отличаются другъ отъ друга или по формамъ (контурамъ) наполняющихъ ихъ образовъ, или по окрашенію и освѣщенію соотвѣтствующихъ половинокъ; т. е., если подкладываемые подъ стереоскопъ разомъ рисунки отличаются другъ отъ друга въ которомъ-нибудь изъ названныхъ отношеній. Разборъ этихъ случаевъ, какъ читатель увидитъ, очень важенъ въ теоретическомъ отношеніи.

Начнемъ съ контуровъ. Положимъ, въ стереоскопъ *) подъ одинъ глазъ положенъ рисунокъ, представляющій на бѣломъ фонѣ черный крестъ съ колѣнами въ 1 цм. ширины, а подъ другой—правильную сѣть тонкихъ черныхъ линій, образованную двумя рядами пересѣкающихся прямыхъ. Казалось бы, что въ слитомъ образѣ крестъ будетъ играть роль объекта, лежащаго на рѣшетчатомъ фонѣ; а между тѣмъ

*) И эти опыты можно дѣлать разумѣется безъ помощи инструмента.

результатъ бываетъ иной: слитой образъ безпрерывно мѣняетъ физіономію—то онъ приметъ ожидаемую форму, то на поверхность чернаго креста какъ будто надвинется полупрозрачный клѣтчатый покровъ, то вдругъ крестъ совсѣмъ исчезнетъ и передъ глазами лежитъ одна сѣтка, или наконецъ послѣдняя закрываетъ собою только часть креста. Эту-то измѣнчивость слитаго образа, при которой наблюдатель видитъ попеременно предметы, наполняющіе поле зрѣнія то одного, то другаго глаза, и называютъ обыкновенно **борьбою контуровъ въ полѣ зрѣнія.** Она происходитъ въ описанной формѣ во всѣхъ безъ исключенія случаяхъ, повидимому независимо отъ степени разницы между контурами сливаемыхъ рисунковъ—лишь бы разницы эти не допускали тѣлеснаго слiянiя образовъ.

Борьба полей зрѣнія представляетъ фактъ въ высокой степени замѣчательный: она доказываетъ неотразимымъ образомъ **двойственность зрительныхъ ощущающихъ центровъ и независимость ихъ дѣятельностей другъ отъ друга.** Безъ этихъ условій, т. е. при существованіи органическихъ причинъ къ слiянiю содержимаго обоихъ полей зрѣнія, въ вышеприведенномъ примѣрѣ слитый образъ имѣлъ бы постоянно форму чернаго креста на рѣшетчатомъ полѣ.

Но если центральныя дѣятельности глазъ независимы другъ отъ друга, то почему же при тѣлесномъ слiянiи перспективныхъ образовъ не происходитъ борьбы полей зрѣнія, такъ какъ и здѣсь сливаемые рисунки не тождественны между собою по контурамъ; а съ другой стороны, какъ объяснить себѣ то обстоятельство, что при существующей борьбѣ полей зрѣнія бываютъ моменты, когда разнородные рисунки сливаются другъ съ другомъ надлежащимъ образомъ (въ приведенномъ выше примѣрѣ черный крестъ кажется лежащимъ на рѣшетчатомъ фонѣ)?

Отвѣтить на эти вопросы съ положительностью невоз-

можно, потому что условія наступленія, усиленія и ослабленія борьбы полей зрѣнія, а тѣмъ болѣе условія прекращенія ея, до сихъ поръ ускользаютъ отъ опредѣленія. Гельмгольтцу удается правда удлиннять фазы появленія одного изъ образовъ (этого онъ достигаетъ тѣмъ, что ставитъ своему вниманію задачи, заставляющія его сосредоточиваться на одномъ изъ образовъ), но лишь на короткое время, и затѣмъ борьба снова начинается. Я думаю впрочемъ, что нѣтъ никакихъ основаній не признавать борьбы полей зрѣнія и при тѣлесномъ видѣніи, особенно при развитіи этой способности: — у взрослаго человѣка она не ощутима потому, что разницы между сливаемыми перспективными образами, а слѣдовательно и между полями зрѣнія, бываютъ обыкновенно такъ ничтожны, что ихъ съ трудомъ замѣчаетъ глазъ, даже намѣренно слѣдящій за ними; а во вторыхъ колебанія эти, какъ очень слабыя, вполнѣ затемняются преобладающимъ яркимъ элементомъ представленія — тѣлесностью видимаго образа. Что же касается до случаевъ тѣлеснаго видѣнія предметовъ, при освѣщеніи ихъ одной электрической искрой, причемъ борьба полей зрѣнія очевидно невозможна, то на нихъ слѣдуетъ смотрѣть, строго говоря, какъ на случаи воспроизведенія въ сознаніи психическихъ ассоціацій, при реальномъ намекѣ на одинъ изъ элементовъ, входящихъ въ составъ представленія; этимъ намекомъ и служитъ мгновенное зрительное впечатлѣніе отъ освѣщеннаго предмета.

Стереоскопическій блескъ.

Если вмѣсто двухъ разнородныхъ рисунковъ въ стереоскопъ положены двѣ различно и ярко окрашенныя поверхности, то въ полѣ зрѣнія происходитъ борьба цвѣтовъ *). Когда же цвѣта поверхностей не очень ярки и притомъ не

*) Замѣчательно, что при этихъ опытахъ существуютъ слѣдующія разнорѣчія между наблюдателями: одни утверждаютъ, что имъ удается сливать цвѣта и видѣть поле зрѣнія окрашеннымъ въ цвѣтъ смѣси, а другимъ это не удается. Причина этихъ разнорѣчій еще не разъяснена.

очень далеко отстоятъ другъ отъ друга по тону, то слитая поверхность кажется блестящею. Тоже самое получается при стереоскопическомъ сліяніи бѣлыхъ и черныхъ (не цвѣтныхъ, а различно освѣщенныхъ) поверхностей. — Если напр. одинъ перспективный образъ какого-нибудь геометрическаго тѣла нарисовать бѣлыми линіями на черномъ полѣ, а другой — черными на бѣломъ, то слитый образъ будетъ казаться сдѣланнымъ какъ будто изъ полированнаго графита, и самая плоскость, на которой онъ лежитъ будетъ казаться такою же.

Явленія эти очень легко объясняются тѣмъ обстоятельствомъ, что въ опытахъ искуственнаго стереоскопическаго сліянія различно освѣщенныхъ или различно окрашенныхъ поверхностей повторяются дѣйствительныя условія видѣнія блестящихъ тѣлъ. Чѣмъ отличается въ самомъ дѣлѣ матовая поверхность отъ блестящей (полированной)? — Первая отражаетъ свѣтъ разсѣянно во всѣ стороны, поэтому кажется глазу всегда одинаково освѣщенною, съ какой бы стороны онъ ни смотрѣлъ на нее; полированная же поверхность отражаетъ свѣтъ лишь въ опредѣленномъ направленіи, поэтому возможны даже такіе случаи, когда одинъ глазъ человѣка, смотрящаго на такую поверхность, получаетъ отъ нея много отраженныхъ лучей, а другой почти нисколько (эти условія и соотвѣтствуютъ именно случаю стереоскопическаго сліянія бѣлой поверхности съ черною); случаи же неравнаго распредѣленія отраженнаго свѣта между глазами наблюдателя (т. е. что въ одинъ глазъ его попадаетъ больше, чѣмъ въ другой), при разсматриваніи блестящихъ полированныхъ поверхностей, очевидно неизбѣжны. Съ этой же точки зрѣнія объясняется блескъ и отъ сліянія различно окрашенныхъ поверхностей. Послѣднее условіе соотвѣтствуетъ дѣйствительному случаю, когда полированная цвѣтная поверхность отражаетъ лучи отъ какого нибудь предмета, окрашеннаго въ другой цвѣтъ, притомъ такимъ образомъ, что лучи послѣдняго рода

попадаютъ въ одинъ глазъ наблюдателя, а въ другой идутъ бѣлые лучи, отраженные полированной поверхностью, съ примѣсью ея собственныхъ цвѣтныхъ.

Читатель видитъ такимъ образомъ, что стереоскопическій блескъ представляетъ новое доказательство въ пользу мысли, что опытъ играетъ первенствующую роль въ актѣ тѣлеснаго слiянiя образовъ. — Борьба полей зрѣнiя тотчасъ уступаетъ мѣсто прочному представленiю, какъ только зрительному аппарату, воспитанному опытомъ, дается возможность отнести разницы ихъ къ какому нибудь знакомому случаю дѣйствительнаго видѣнiя.

Тѣлесное видѣнiе однимъ глазомъ.

§ 64. Въ предъидущемъ параграфѣ разобраны условiя тѣлеснаго видѣнiя двумя глазами; но человѣкъ обладаетъ этой способностью и при смотрѣнiи однимъ глазомъ. Въ чемъ же заключаются у него средства для этого?

Отвѣтъ на это представляетъ живопись. Рельефность образовъ на картинѣ зависитъ, какъ всякiй знаетъ, отъ вѣрности освѣщенiя и отѣненiя предметовъ и отъ соблюденiя правилъ воздушной и линейной перспективы. Объ нѣкоторыхъ изъ относящихся сюда моментовъ (напр. о воздушной перспективѣ, объ уменьшенiи величины предметовъ съ удаленiемъ ихъ отъ глаза) рѣчь была уже выше; поэтому мы остановимся только на освѣщенiи и отѣненiи предметовъ, съ цѣлью опредѣлить природу той связи, которая существуетъ для сознанiя между этими моментами и представленiями тѣлесности.

Связь эта есть исключительно продуктъ опыта. Это вытекаетъ изъ того, что извращенiе условiй освѣщенiя и отѣненiя всякой данной формы ведетъ къ извращенiю ея основнаго тѣлеснаго характера — выпуклая форма кажется полой и наоборотъ. Если напр. положить горизонтально передъ окномъ полый оттискъ какой-нибудь медали и смотрѣть на него со стороны противуположной окну (однимъ глазомъ) въ

лупу, то полая форма очень легко превращается для глаза въ выпуклую. При этомъ происходитъ извращеніе въ положеніи освѣщенныхъ и отѣненныхъ мѣстъ оттиска относительно направленія падающаго свѣта (освѣщенныя точки перемѣщаются къ окну, а отѣненныя отъ окна) и являются, слѣдовательно, условія освѣщенія, соотвѣтствующія не полому, а выпуклому тѣлу. — Сознаніе и вдается въ этотъ обманъ.

Дальнѣйшее доказательство нашей мысли заключается въ томъ, что въ псевдоскопѣ извращеніе тѣлесной формы вообще не удается, если рисунки предметовъ представляютъ, соотвѣтственно ихъ выпуклости, падающія тѣни. Положеніе послѣднихъ для выпуклыхъ и полыхъ тѣлъ никогда не бываетъ, по отношенію къ источнику свѣта, обратное, какъ это бываетъ съ положеніемъ освѣщенныхъ и отѣненныхъ поверхностей самаго предмета, а между тѣмъ псевдоскопъ извращаетъ и положеніе падающихъ тѣней. — Сознаніе, воспитанное въ этомъ отношеніи опытомъ, и не можетъ вдаться въ обманъ.

Примѣровъ этихъ, надѣюсь, совершенно достаточно, чтобы убѣдить всякаго въ справедливости развиваемой мысли. Съ достиженіемъ же этой цѣли, вопросъ о тѣлесномъ видѣніи однимъ глазомъ совершенно исчерпывается.

Двойственное видѣніе.

§ 65. При необычайной объективности продуктовъ зрительной дѣятельности, человѣкъ можетъ употреблять свои глаза въ практической жизни съ одною только цѣлью — видѣть какъ можно яснѣе окружающіе его реальные предметы. Подъ вліяніемъ ея (разумѣется въ связи съ свойствами зрительнаго аппарата) выработывается и самый способъ смотрѣнія на образы, наполняющіе поля зрѣнія обоихъ глазъ. — Во первыхъ, человѣкъ пріучается безпрерывно передвигать зрительныя оси

съ одного образа на другой, и (какъ говорится) сосредоточивать вниманіе только на фиксируемыхъ и сосѣднихъ имъ точкахъ; черезъ это за образами въ боковыхъ частяхъ полей зрѣнія остается значеніе лишь неясныхъ путеводныхъ знаковъ, опредѣляющихъ направленіе глазныхъ передвиженій. Во вторыхъ, человѣкъ пріучается сравнивать поля зрѣнія своихъ глазъ лишь въ томъ отношеніи, поскольку изъ сходствъ или различій между ними вытекаютъ тѣ или другія стороны пространственнаго видѣнія предметовъ (напр. тѣлесность формы, направленіе, въ которомъ лежатъ предметы по отношенію къ нашему тѣлу и пр.). Удивительно ли послѣ этого, что онъ проглядываетъ такія разницы въ поляхъ зрѣнія своихъ глазъ, которыя не могутъ быть приведены въ связь съ опытными продуктами реальнаго пространственнаго видѣнія,—особенно если эти разницы не ярки?—А между тѣмъ онѣ дѣйствительно существуютъ; но для того, чтобы ихъ замѣтить, человѣку нужно отказаться отъ привычныхъ способовъ смотрѣнія—онъ долженъ во первыхъ остановить свои глаза неподвижно въ какомъ-нибудь одномъ положеніи и за тѣмъ обратить вниманіе нетолько на фиксируемый предметъ, но и на сосѣдніе съ нимъ. При этомъ нетрудно бываетъ замѣтить, что многіе изъ одинокихъ предметовъ, лежащихъ передъ глазами, кажутся вдвойнѣ. Такъ напр. если глаза *oo* (рис. 80) фиксируютъ точку *a*, то точки *b*, *c d* кажутся двойными и полуобразы точекъ *b* и *c* расходятся тѣмъ сильнѣе, чѣмъ значительнѣе разстояніе точекъ *b* и *c* отъ *a*. Закрывая при этомъ поочередно тотъ и другой глазъ, легко бываетъ замѣтить, что изъ двойныхъ образовъ *b* и *d* правыя половины исчезаютъ при закрытіи лѣваго глаза, и лѣвыя— при закрытіи праваго (такое раздвоеніе называется перекрестнымъ); для двойнаго же образа *c* все бываетъ обратное, т. е. при закрытіи праваго глаза исчезаетъ правый полуобразъ, а при закрытіи лѣваго—лѣвый (такое раз-

двоеніе называется одноименымъ) *). Достаточно немного вдуматься въ этотъ рядъ фактовъ, чтобы понять весь механизмъ происхожденія двойныхъ образовъ и даже вывести въ общихъ чертахъ законъ распредѣленія въ поляхъ зрѣнія всѣхъ тѣхъ точекъ, которыя должны казаться двойными. Разсмотримъ въ самомъ дѣлѣ поле зрѣнія каждаго изъ глазъ въ отдѣльности. Правому глазу, фиксирующему точку *a*, точка *b*, какъ ближайшая, должна казаться лежащею влѣво отъ *a*, а точка *c*, какъ дальнѣйшая, — вправо; въ полѣ же зрѣнія лѣваго глаза это распредѣленіе совершенно обратное — *b* лежитъ вправо отъ *a*, а *c* влѣво. Поэтому понятно, что когда оба поля зрѣнія надвинутся другъ на друга такимъ образомъ, что фиксируемыя точки каждаго изъ нихъ т. е. *a*, совпадаютъ между собою, одинъ образъ *b*, и именно образъ праваго глаза, помѣщается влѣво отъ *a*, а другой — вправо; образы

Рис. 80.



*) Къ дальнѣйшимъ свойствамъ двойственнаго видѣнія относится то, что полуобразы раздвоившагося предмета видятся наблюдателемъ всегда въ надлежащемъ удаленіи отъ него. Это объясняется тѣмъ, что у человѣка, разсматривающаго поочередно предметы, наполняющіе его поле зрѣніе, одни и тѣже образы, должны попеременно то раздваиваться, (хотя человѣкъ и не замѣчаетъ этаго), то видѣться одиноко; и такъ какъ при послѣднемъ условіи удаленіе предмета сознается ясно, то явно, что представленіе объ этомъ удаленіи переносится и на случай, когда глаза принимаютъ положеніе, влекущее за собою раздвоеніе образа. Сказанное повторяется въ жизни человѣка мильоны разъ, и наконецъ развивается способность опредѣлять удаленіе предметовъ и при положеніяхъ глазъ, соотвѣтствующихъ случаямъ двойственнаго видѣнія ихъ.

же точки c не только не успѣваютъ при этомъ перекреститься между собою, но даже не сближаются до полнаго слiянiя, оставаясь каждая на соотвѣтствующей сторонѣ. Точка d въ полѣ зрѣнiя каждаго изъ глазъ отклонена влѣво отъ a, но въ полѣ зрѣнiя праваго глаза отклоненiе это значительнѣе, чѣмъ въ полѣ лѣваго; поэтому при надвиганiи полей зрѣнiя другъ на друга образъ праваго глаза помѣщается влѣво отъ образа лѣваго.

Отсюда очевидно вытекаетъ, что двойные образы должны давать всѣ точки полей зрѣнiя, которыя лежатъ въ каждомъ изъ нихъ неодинаково относительно фиксируемой точки, притомъ настолько неодинаково, чтобы глаза могли замѣтить эту разницу.

Перевернувъ эту мысль, получимъ другое, тождественное съ предъидущимъ, положенiе: одинокими должны казаться всѣ точки полей зрѣнiя, которыя лежатъ въ каждомъ изъ нихъ или совершенно одинаково относительно фиксируемой точки, или такъ мало разнятся въ этомъ отношенiи, что глаза не замѣчаютъ различiя.

Переходя наконецъ отъ полей зрѣнiя къ сѣтчаткамъ, приходимъ къ богатому приключенiями вопросу о попарномъ распредѣленiи по поверхностямъ послѣднихъ такъ называемыхъ тождественныхъ и нетождественныхъ точекъ. Первыми называются такiя пары, одновременное возбужденiе которыхъ даетъ единичное ощущенiе; а не тождественными — точки, ощущаемыя отдѣльно.

Способы опредѣленiя положенiя тождественныхъ точекъ и законъ распредѣленiя ихъ по поверхностямъ сѣтчатокъ.

Опредѣлять положенiе тождественныхъ точекъ на поверхностяхъ сѣтчатокъ можно, разумѣется, только косвеннымъ путемъ, — сравнивая между собою, относительно совпадаемости, различныя пары точекъ и линiй, наносимыхъ на плоскость, перпендикулярную къ направленiямъ зрительныхъ осей обоихъ глазъ, смотрящихъ въ безконечную даль (т. е. па-

раллельными осями). Плоскость эту всего удобнѣе взять отвѣсною, слѣдовательно зрительныя оси наблюдателя должны быть параллельны горизонту. Путемъ такихъ опытовъ получается двѣ системы точекъ, лежащихъ въ одной и той же плоскости и совпадающихъ попарно между собою при разсматриваніи ихъ параллельными осями. Образы этихъ системъ въ соотвѣтствующихъ имъ глазахъ и будутъ представлять системы тождественныхъ точекъ на сѣтчаткахъ.

1) Первую и главную пару тождественныхъ точекъ представляютъ центры желтыхъ пятенъ. Имъ всегда соотвѣтствуютъ фиксируемыя точки въ поляхъ зрѣнія.

2) Горизонтальныя линіи въ поляхъ зрѣнія, идущія черезъ фиксируемыя точки (имъ соотвѣтствуютъ горизонтальные меридіаны сѣтчатокъ, идущіе черезъ центры желтыхъ пятенъ), представляютъ непрерывный рядъ тождественныхъ между собою точекъ, потому что обѣ линіи совпадаютъ другъ съ другомъ.

Это выводится изъ слѣдующаго опыта. Передъ наблюдателемъ, на отвѣсной стѣнѣ, въ разстояніи промежутка между его глазами и на высотѣ ихъ укрѣпляются два кружка подвижныхъ около центра; на каждомъ изъ нихъ начерченъ радіусъ. Одинъ изъ послѣднихъ установленъ предварительно совершенно горизонтально, а другой устанавливается наблюдателемъ (фиксирующимъ центры кружковъ) уже на глазъ, притомъ такъ, чтобы образы обоихъ радіусовъ, сближаясь между собою до касанія представляли одну прямую. Нормальные глаза устанавливаютъ обыкновенно второй радіусъ почти совсѣмъ горизонтально (а близорукіе всегда подъ угломъ, притомъ такъ, что наружный конецъ линіи лежитъ ниже внутренняго.

3) Совпадаютъ между собою такія линіи полей зрѣнія, которыя проходятъ черезъ фиксируемыя точки и кажутся каждому изъ соотвѣтствующихъ глазъ совершенно отвѣсными (для нѣкоторыхъ наблюдателей, напр. для Геринга, эти линіи чрезвычайно мало уклоняются отъ истинныхъ вертикаловъ, у другихъ же, напр. у Гельмгольтца онѣ имѣютъ направленіе, сходящееся книзу). Имъ соотвѣтствуютъ меридіаны сѣтча-

токъ, идущіе черезъ центры желтыхъ пятенъ, или совершенно отвѣсно или сходясь нѣсколько книзу.

Опыты съ радіусами подвижныхъ кружковъ, и вообще съ линіями, здѣсь неприложимы, потому при этомъ въ явленіе могутъ замѣшаться стереоскопическіе эффекты, ведущіе, какъ читатель знаетъ, къ сліянію очень различныхъ по направленію линій. Поэтому Гельмгольтцъ совѣтуетъ слѣдующій способъ. Объектомъ для одного глаза служитъ: на черномъ полѣ красная полоска въ 3 мм. шириной, съ прямыми параллельными краями, а для другаго — голубая нитка. Обоимъ объектамъ дается почти вертикальное, нѣсколько сходящееся книзу направленіе; полоска укрѣпляется неподвижно съ обоихъ концовъ, а нитка только сверху. Наблюдатель, фиксирующій параллельными (между собою и къ горизонту) осями средины объектовъ, старается установить нитку такимъ образомъ, чтобы при сліяніи она проходила какъ разъ посрединѣ полоски, параллельно ея краямъ. При этомъ и оказалось, что объекты имѣли сходящееся книзу направленіе; а между тѣмъ каждому изъ глазъ они казались перпендикулярами къ истинно горизонтальнымъ линіямъ.

4) Точки вертикальныхъ меридіановъ (идущихъ черезъ фиксируемыя точки) равно, и въ ту же сторону, удаленныя отъ точекъ фиксаціи, совпадаютъ между собою. Положеніе это не измѣняетъ формы и въ приложеніи къ точкамъ сѣтчатокъ.

Для этаго (рис. 81) черезъ фиксируемыя точки проводились вертикальные меридіаны *s* и *s*; изъ точекъ одного изъ нихъ проводились

Рис. 81.



горизонтальныя линіи (*b*), а по длинѣ другаго передвигалась пластинка съ горизонтальною линіею *b'*. Для всякаго положенія *b*, наблюдатель,

смотрящій параллельными осями, старался установить b' такимъ образомъ, чтобы обѣ линіи слились въ одну прямую. При этомъ оказалось, что b' всегда устанавливалась (на глазъ) отъ фиксируемой точки на такое же разстояніе, на какомъ находилась прямая b.

5) Точки горизонтальныхъ меридіановъ, равно и въ ту же сторону удаленныя отъ точекъ фиксаціи, совпадаютъ между собою (и это положеніе остается безъ измѣненія въ приложеніи къ точкамъ сѣтчатокъ).

Это выводится изъ опытовъ подобныхъ предъидущимъ, въ которыхъ b и b' имѣютъ не горизонтальное, а вертикальное положеніе, притомъ (для избѣжанія стереоскопическаго слiянія) лежатъ такимъ образомъ, что одна изъ линій лежитъ подъ горизонтальнымъ меридіаномъ, а другая поверхъ его.

Изъ этихъ 5 пунктовъ выходитъ, что
въ поляхъ зрѣнія сливаются между собою такія точки, которыя одинаково лежатъ и одинаково удалены отъ горизонтальныхъ и вертикальныхъ меридіановъ.

Это положеніе даетъ возможность построить обѣ системы проекцій тождественныхъ точекъ въ формѣ двухъ сѣтей, образованныхъ пересѣченіемъ горизонтальныхъ линій (каждая горизонтальная линія одной сѣти можетъ составлять продолженіе соотвѣтствующей линіи другой, или каждая пара должна опускаться наружными концами нѣсколько книзу) съ такими, которыя кажутся къ нимъ перпендикулярными.

Но откуда же берется такая стройность въ распредѣленіи тождественныхъ точекъ по поверхностямъ обѣихъ сѣтчатокъ, и чѣмъ вообще обусловливается самое существованіе такихъ точекъ?

Въ этомъ отношеніи существуютъ два взгляда на дѣло. Одни кладутъ въ основу тождественности точекъ органическія причины, т. е. считаютъ существованіе ихъ продуктомъ врожденной организаціи зрительнаго аппарата; а другіе, смотрящіе вообще на сліяніе впечатлѣній обоихъ глазъ, какъ на

продукты опыта, выводятъ и тождественность точекъ изъ того же источника. Послѣдняя точка зрѣнія очень легко выясняется изъ слѣдующаго аналогическаго и общеизвѣстнаго факта: если къ шарику прикасаться двумя сосѣдними пальцами руки такимъ образомъ, чтобы пальцы сохраняли при этомъ свое естественное положеніе другъ относительно друга, то шарикъ будетъ казаться всегда одинокимъ, несмотря на то, что ощущеніе въ сферѣ каждаго пальца сознается отдѣльно; если же надъ шарикомъ скрестить пальцы такъ, чтобы онъ касался одновременно двухъ поверхностей, могущихъ возбуждаться при нормальномъ положеніи пальцевъ только двумя шариками, то одинокій шарикъ кажется двойнымъ. Въ первой половинѣ этаго опыта чувствующія точки обоихъ пальцевъ играютъ очевидно ту же роль, что и тождественныя точки сѣтчатокъ; а во второй — точки пальцевъ, прикасающіяся къ шарику, равнозначущи нетождественнымъ точкамъ. Сліяніе ощущеній въ первомъ случаѣ есть продуктъ привычнаго способа осязать одною рукою одинокіе предметы (въ единичности которыхъ человѣкъ можетъ убѣдиться и еще многими другими способами); а обманчивое раздвоеніе шарика во второмъ—есть продуктъ привычки осязать одною рукою два раздѣльныхъ предмета. И сливаніе и раздвоеніе есть стало быть продуктъ опыта.

Въ приложеніи къ нашему вопросу справедливость этой мысли доказывается уже тѣмъ, что въ наукѣ существуютъ положительные факты, несовмѣстные съ теоріей врожденной тождественности точекъ сѣтчатокъ. Факты эти тѣмъ болѣе полновѣсны, что они касаются желтыхъ пятенъ — мѣстъ сѣтчатокъ, тождественныхъ между собою по преимуществу (даже въ глазахъ защитниковъ теоріи врожденной тождественности).

Первый изъ нихъ представляютъ такіе случаи косоглазія, въ которыхъ уголъ схожденія или расхожденія между зри-

тельными осями глазъ остается, для всѣхъ положеній послѣднихъ, приблизительно постояннымъ; если притомъ оба глаза сохраняютъ почти одинаковую тонкость зрѣнія (въ противномъ случаѣ такіе люди смотрятъ, собственно говоря, только одним глазомъ, болѣе сильнымъ). При этомъ условіи человѣкъ фиксируетъ предметы такъ, что образы ихъ въ одномъ глазу (не косящемъ) падаютъ какъ слѣдуетъ на желтое пятно, а въ другомъ, смотря по направленію косоглазія, или кнаружи или кнутри отъ него; и не смотря на это, онъ видитъ фиксируемые предметы одиноко. Что люди въ такихъ случаяхъ смотрятъ дѣйствительно не однимъ, а обоими глазами разомъ, легко убѣдиться опытомъ съ призмой: если поставить ее передъ однимъ изъ глазъ преломляющимъ ребромъ кверху или книзу, то фиксируемые предметы раздваиваются въ образы, лежащіе другъ надъ другомъ.

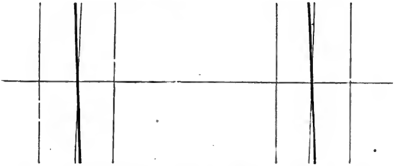
Когда съ другой стороны такимъ больнымъ сдѣлана операція косоглазія совершенно удачно, и они начинаютъ ставить зрительныя оси своихъ глазъ относительно фиксируемыхъ предметовъ правильно, т. е. такъ, что образы ихъ падаютъ на желтыя пятна; то въ первое время послѣ операціи такіе больные видятъ фиксируемые предметы вдвойнѣ; но съ теченіемъ времени это раздвоеніе исчезаетъ.

Не ясно ли, что тождественность, поскольку она выражается въ одиночномъ видѣніи, можетъ развиться путемъ привычки между точками сѣтчатокъ, нетождественными между собою при нормальныхъ условіяхъ; а съ другой стороны, не ясно ли, что вслѣдствіе той же привычки тождественныя нормально точки могутъ превратиться въ нетождественныя? Приведенные факты кажется не требуютъ дальнѣйшихъ комментаріевъ.

Другой фактъ, несовмѣстный съ теоріей врожденной тождественности, заключается въ слѣдующемъ опытѣ Уитстона (водоизмѣненномъ нѣсколько Гельмгольтцомъ). Въ стереоскопъ

(или безъ него) подъ глаза кладутся фигуры, изображенныя на рис. 82. Въ нихъ толстая черта правой стороны и тонкая лѣвой, равно какъ тонкая черта правой и толстая лѣвой, представляютъ проекціи тождественныхъ между со-

Рис. 82.



бою по парномеридіановъ глаза (для разныхъ глазъ это положеніе должно быть нѣсколько различно —глазамъ Гельмгольтца соотвѣтствуетъ положеніе, данное имъ на рисункѣ). Поэтому слѣдовало бы ожидать, что въ стереоскопѣ каждая пара сольется между собою и въ результатѣ получится образъ двухъ перекрещивающихся толстыхъ линій; а между тѣмъ выходитъ наоборотъ: толстая линія сливается съ толстой, а тонкая съ тонкой, и при этомъ (для приведеннаго рисунка) верхній конецъ слитаго креста кажется наклоненнымъ къ сторонѣ наблюдателя противъ тонкихъ вертикальныхъ линій, помѣщающихся по бокамъ креста. Изъ этаго выходитъ, что когда сознанію, воспитанному опытомъ, дана возможность истолковать два рисунка въ смыслѣ проекцій реальнаго предмета, оно производитъ стереоскопическое сліяніе такихъ частей, которыхъ образы падаютъ на несоотвѣтствующія точки сѣтчатокъ и можетъ разъединить при этомъ части рисунковъ, образы которыхъ падаютъ наоборотъ на тож-

дественныя точки. — Какая же можетъ быть органическая связь между послѣдними, если опытъ въ силахъ разорвать ее!

Другой вопросъ, подлежащій нашему рѣшенію, заключается въ разъясненіи условій происхожденія той стройности въ распредѣленіи тождественныхъ точекъ по поверхностямъ сѣтчатокъ, какую мы видѣли выше.

Говоря объ условіяхъ стереоскопическаго слiянія образовъ, наполняющихъ поля зрѣнія глазъ, и о механизмѣ раздвоенія ихъ, мы видѣли, что въ основѣ этихъ процессовъ лежитъ родъ сравненія полей зрѣнія, со стороны ихъ содержанія; стало быть въ этомъ же моментѣ должны заключаться и условія даннаго распредѣленія тождественныхъ точекъ.

Въ самомъ дѣлѣ при условіяхъ нормальнаго смотрѣнія мы всегда располагаемъ зрительныя оси глазъ такимъ образомъ, что образы фиксируемой (одной) точки падаютъ на центры желтыхъ пятенъ. Изъ этого возникаетъ съ одной стороны (подъ вліяніемъ привычки и опыта) тождественность названныхъ центровъ, а съ другой постоянство точки слiянія надвигающихся другъ на друга полей зрѣнія и постоянство въ направленіи этаго надвиганія; послѣднее заключается всегда въ сближеніи полей зрѣнія внутренними краями. При этомъ условіи вся внутренняя (ближайшая къ носу) половина поля зрѣнія праваго глаза (если въ этомъ полѣ провести черезъ точку фиксаціи вертикальный меридіанъ), рисующаяся на наружной половинѣ соотвѣтствующей сѣтчатки, всегда совпадаетъ съ наружной половиной поля зрѣнія лѣваго глаза, рисующейся на внутренней половинѣ своей сѣтчатки, и наоборотъ. — Далѣе, верхняя половина поля зрѣнія одного глаза (если черезъ точки фиксаціи провести горизонтальные меридіаны), рисующаяся на нижней половинѣ своей сѣтчатки, всегда совпадаетъ съ верхнею половиною поля зрѣнія другаго глаза; а нижняя — съ нижнею. Стало быть, если на поверхности сѣтчатокъ существованіе

тождественныхъ точекъ возможно вообще, то ихъ можно искать только въ тѣхъ участкахъ этихъ поверхностей, которыхъ образы совпадаютъ другъ съ другомъ въ вадвигающихся поляхъ зрѣвія. Такъ, если обѣ сѣтчатки вообразить себѣ раздѣлевными вертикальвыми и горизонтальными меридіанами (проходящими через центры желтыхъ пятевъ) на 4 сектора, то тождественными между собою могутъ быть только точки слѣдующихъ паръ секторовъ: верхняго и внутренняго (ближайшаго къ носу) въ правомъ глазу съ верхнимъ и наружнымъ въ лѣвомъ; верхняго и наружнаго въ правомъ глазу съ верхнвмъ и внутренвимъ въ лѣвомъ; нижняго и внутревняго въ правомъ глазу съ нижвимъ и наружнымъ въ лѣвомъ и пр.

Задача наша такимъ образомъ на половину кончева — теперь остается только опредѣлить условія развитія тождествевности горизовтальныхъ и кажущихся вертикальныхъ меридіановъ, равно какъ тождественность точекъ, лежащихъ по направленію этихъ меридіановъ въ равныхъ отстояніяхъ отъ точекъ фиксацій.

Тождественность горизовтальныхъ меридіановъ объясняется тѣмъ, что при фиксаціи всякаго далекаго предмета, независимо отъ его формы, на горизонтальныхъ меридіанахъ обоихъ глазъ всегда рисуются одви и тѣже точки объекта, и имевно тѣ, которыя совпадаютъ съ зрительной плоскостью. Слѣдовательно условія для сравненія образовъ этихъ точекъ даны постоявно, или покрайней мѣрѣ чрезвычайво часто.

Причина тождественности между собою не истинно вертикальныхъ, а нѣсколько сходящихся книзу меридіановъ глазъ, при параллельномъ вапрвлевіи зрительныхъ осей и горизонтальвомъ положеніи проведенной черезъ вихъ плоскости, не разъяснена съ положительвостью.

Что же касается наковецъ до условій развитія тождественности между точками кажущихся вертикальныхъ и го-

ризонтальныхъ меридіановъ, равно отстоящими отъ точекъ фиксаціи, то здѣсь очевидно дѣйствуютъ моменты подобные тѣмъ, которые лежатъ въ основѣ соизмѣренія между собою однимъ глазомъ двухъ равныхъ величинъ; въ нашемъ случаѣ такое сравненіе даетъ даже болѣе тонкіе результаты, потому что здѣсь реальный образъ сравнивается съ реальнымъ, а не со слѣдомъ, какъ при соизмѣреніи величинъ однимъ глазомъ.

Когда же разъ дана тождественность точекъ фиксаціи и проведенныхъ черезъ нихъ кажущихся вертикальныхъ и горизонтальныхъ меридіановъ, равно какъ тождественность точекъ, лежащихъ по этимъ меридіанамъ въ равныхъ разстояніяхъ отъ точекъ фиксаціи, то вмѣстѣ съ тѣмъ дана очевидно и тождественность такихъ точекъ, которыя одинаково лежатъ и одинаково удалены отъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ меридіановъ.

Понятіе о гороптерѣ и его свойствахъ.

§ 66. Гороптеромъ называется сумма всѣхъ точекъ внѣшняго пространства, которыхъ образы падаютъ на всѣ тождественныя точки сѣтчатокъ. Въ этомъ смыслѣ каждая точка гороптера опредѣляется мѣстомъ пересѣченія въ пространствѣ зрительныхъ линій, проведенныхъ изъ каждой пары тождественныхъ точекъ, и на этомъ же основаніи фиксируемая обоими глазами точка внѣшняго пространства лежитъ всегда въ гороптерѣ, такъ какъ ея образы падаютъ на тождественные между собою центры желтыхъ пятенъ.

Понятно, что форма гороптера будетъ зависѣть во первыхъ отъ формы распредѣленія по поверхностямъ сѣтчатокъ тождественныхъ точекъ, для исходнаго положенія глазъ, т. е. для случая параллельнаго направленія зрительныхъ осей и горизонтальнаго положенія зрительной плоскости. Соотвѣтственно этому, формы гороптера, выведенныя для даннаго условія, Гельмгольтцомъ и Герингомъ, отличаются другъ отъ друга: — первый принимаетъ для вертикальныхъ меридіа-

новъ глазъ направленіе, сходящееся книзу, а второй считаетъ ихъ перпендикулярными къ горизонтальнымъ меридіанамъ. Понятно далѣе, что форма гороптера должна измѣняться съ измѣненіемъ направленія зрительныхъ осей и положенія зрительной плоскости, потому что измѣненія эти связаны съ вращеніями глазъ около передне-заднихъ осей, а вращенія эти очевидно ведутъ за собою перемѣщеніе тождественныхъ точекъ сѣтчатокъ въ пространствѣ. Поэтому формъ гороптера можетъ быть, строго говоря, безчисленное множество; но конечно между ними лишь нѣкоторыя формы имѣютъ значеніе типическихъ.

Для облегченія построенія гороптера, поверхности сѣтчатокъ дѣлятъ двумя системами меридіановъ, проведенными параллельно тѣмъ главнымъ горизонтальнымъ и вертикальнымъ линіямъ раздѣла, которыя проходятъ черезъ центры желтыхъ пятенъ (послѣдніе меридіаны называютъ главными — горизонтальными или вертикальными, — а всѣ прочіе побочными). Черезъ это получается возможность строить (для каждаго даннаго положенія глазъ) отдѣльно другъ отъ друга поверхности, гороптера, происходящія отъ пересѣченія между собою всѣхъ вертикальныхъ и всѣхъ горизонтальныхъ меридіановъ. Частный гороптеръ перваго рода называется вертикальнымъ гороптеромъ, а тотъ, который происходитъ отъ пересѣченія горизонтальныхъ меридіановъ — горизонтальнымъ. Кривая пересѣченія обоихъ частныхъ гороптеровъ составляетъ цѣльный гороптеръ.

Такъ какъ знаніе гороптера для всякаго даннаго положенія глаза не имѣетъ никакой практической важности, то мы ограничимся при описаніи формы его лишь однимъ примѣромъ.

Случай параллельнаго направленія зрительныхъ осей и горизонтальнаго положенія зрительной плоскости.

a) Форма гороптера по Герингу.

Такъ какъ этотъ изслѣдователь считаетъ для даннаго положенія глазъ главные горизонтальные меридіаны сѣтчатокъ совершенно горизонтальными, а главные вертикальные совершенно вертикальными, то понятно, что плоскости, проведенныя черезъ каждую тождественную пару послѣднихъ, будутъ параллельны между собою, т. е. пересѣкутся въ безконечномъ удаленіи. Стало быть вертикальный гороптеръ будетъ безконечно удаленная плоскость, стоящая перпендикулярно къ направленію зрительныхъ осей. Всякая пара горизонтальныхъ плоскостей, проведенная черезъ тождественные горизонтальные меридіаны, будетъ наоборотъ сливаться между собою въ одну плоскость, или что все равно, пересѣкаться другъ съ другомъ во всѣхъ точкахъ. Стало быть горизонтальный гороптеръ есть все внѣшнее пространство во всѣхъ его 3-хъ измѣреніяхъ. Пересѣченіе обоихъ частныхъ гороптеровъ есть очевидно плоскость вертикальнаго гороптера.

b) Форма гороптера по Гельмгольтцу.

Этотъ изслѣдователь считаетъ при данномъ положеніи глазъ главные горизонтальные меридіаны тоже совершенно горизонтальными; поэтому горизонтальный гороптеръ и у него имѣетъ туже форму, что у Геринга. Но для главныхъ вертикальныхъ меридіановъ онъ принимаетъ (при нормальности глазъ) настолько сходящееся книзу направленіе, что точка пересѣченія ихъ совпадаетъ приблизительно съ плоскостью, на которой стоитъ человѣкъ. Поэтому у Гельмгольтца вертикальнымъ гороптеромъ (а вмѣстѣ съ тѣмъ и цѣльнымъ) будетъ плоскость, проведенная черезъ линіи пересѣченія каждой пары тождественныхъ вертикальныхъ плоскостей; она будетъ параллельна зрительной плоскости и почти совпадать съ тою, на которой стоитъ человѣкъ. Послѣднее обстоятельство Гельмгольтцъ считаетъ важнымъ въ томъ отношеніи, что черезъ это человѣкъ получаетъ возможность сознавать

очертаніе поверхности, по которой онъ идетъ, даже при условіи, если смотритъ при этомъ въ даль;—и это потому, что рельефность тѣлъ выступаетъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ рѣзче, чѣмъ ближе лежатъ эти тѣла къ горонтеру.

Это важное свойство послѣдняго вытекаетъ уже изъ того, что въ предметахъ, лежащихъ внѣ горонтера, которые кажутся слѣдовательно двойными, тѣлесиость формы бываетъ выражена вообще слабо, — и тѣмъ слабѣе, чѣмъ больше расходятся полу-образы, т. е. чѣмъ дальше лежитъ соотвѣтствующій предметъ отъ горонтера.

Явленія контрастовъ.

§ 67. Послѣдній рядъ явленій, съ которымъ намъ приходится имѣть дѣло, суть такъ назыв. контрасты. Сущность ихъ конечно всякому извѣстна и заключается въ преувеличеніи сознаніемъ дѣйствительной разницы между однородными качествами двухъ современныхъ, или послѣдующихъ, впечатлѣній. Такъ, свѣтлая поверхность кажется свѣтлѣе, если рядомъ съ ней поставить темную; человѣкъ средняго роста кажется передъ карликомъ большимъ; недурное лицо рядомъ съ уродливымъ, кажется красивымъ и пр. Во всѣхъ этихъ случаяхъ контрастъ выступаетъ тѣмъ рѣзче, чѣмъ ближе другъ къ другу лежатъ данныя впечатлѣнія — одновременныя въ пространствѣ, послѣдовательныя во времени. — Съ другой стороны контрастъ бываетъ рѣзокъ только при сопоставленіи дѣйствительно однородныхъ качествъ впечатлѣній, или по крайней мѣрѣ такихъ, которыя человѣкъ въ своей жизни могъ часто наблюдать вмѣстѣ (напр. въ низкой комнатѣ высокій человѣкъ кажется выше, чѣмъ въ высокой). Поэтому не подлежитъ сомнѣнію, что въ основѣ контраста лежитъ всегда родъ сравненія впечатлѣній, и слѣдовательно самый контрастъ, какъ результатъ этаго сравненія,

долженъ быть отнесенъ къ области обмановъ сознанія *). Въ этомъ смыслѣ наше явленіе по своей сущности становится чисто психическимъ, и выходитъ слѣдовательно изъ круга нашего изслѣдованія. Но мы и не будемъ касаться его сущности, а остановимся лишь на нѣкоторыхъ послѣдствіяхъ контраста, которыя вовлекаютъ сознаніе въ чрезвычайно рѣзкіе вторичные обманы.

Между ними по яркости на первомъ мѣстѣ стоятъ обманы въ сужденіи о цвѣтахъ — явленія извѣстныя подъ именемъ цвѣтныхъ контрастовъ (правильнѣе было бы, какъ увидимъ, называть ихъ вторичными цвѣтными контрастами).

Сущность ихъ заключается въ слѣдующемъ.

Представленія наши о цвѣтахъ вообще далеко не отличаются той положительностью, какой слѣдовало бы ожидать, судя по множеству именъ, встрѣчающихся въ каждомъ языкѣ для обозначенія различныхъ цвѣтныхъ оттѣнковъ; — особенно, если имѣть въ виду блѣдные тоны. Это всего лучше видно изъ шаткости нашихъ представленій о бѣломъ цвѣтѣ. Листъ бѣлой бумаги кажется намъ совершенно бѣлымъ и при дневномъ свѣтѣ, и при свѣчкѣ, и при лунномъ освѣщеніи; а между тѣмъ въ этихъ трехъ случаяхъ лучи, отражаемые бумагой, очень различны между собою: при дневномъ свѣтѣ они дѣйствительно бѣлые, при свѣчкѣ — желтые, а при лунѣ — голубоватые. Причина этой шаткости заключается разумѣется въ томъ, что человѣкъ, вслѣдствіе условій самой жизни, встрѣчается не съ идеально чистыми цвѣтами, а со

*) Отсюда разумѣется должны быть исключены случаи послѣдовательныхъ контрастовъ, относящіеся къ яркости и окрашенію двухъ сосѣднихъ по времени впечатлѣній; здѣсь въ основѣ ошибочности оцѣнки послѣдующаго впечатлѣнія лежитъ физіологическая причина—измѣненная предъидущимъ впечатлѣніемъ раздражительность сѣтчатки. Поэтому эти случаи и были разсмотрѣны выше, вслѣдъ за явленіями свѣтовыхъ слѣдовъ.

смѣсями ихъ, и потому привыкаетъ называть бѣлымъ все то, что лишь болѣе или менѣе приближается къ бѣлому. На этомъ основаніи можно утверждать уже a priori, что всякій сильно разжиженный цвѣтной тонъ, (зеленый, желтый, красный и пр.) можетъ казаться человѣку, при извѣстныхъ условіяхъ, чисто бѣлымъ. — Особенно, если въ числѣ этихъ условій находятся такія, которыя могутъ подать поводъ къ возникновенію контраста. — Представимъ себѣ напр. такой случай: передъ человѣкомъ лежатъ рядомъ двѣ поверхности и обѣ окрашены въ одинаковый цвѣтъ, но одна болѣе или менѣе густо, а другая довольно жидко. По контрасту послѣдняя должна казаться бѣлой въ сравненіи съ первой. И это дѣйствительно бываетъ такъ: если надѣть напр. очки съ неярко окрашенными цвѣтными стеклами и, поносивъ ихъ немного, смотрѣть на бѣлыя поверхности — послѣднія кажутся совершенно бѣлыми.

Но допустивъ разъ возможность извращенія представленія о бѣломъ цвѣтѣ, нельзя не принять вмѣстѣ съ тѣмъ, что при тѣхъ же условіяхъ истинно бѣлый цвѣтъ не можетъ уже казаться бѣлымъ, а долженъ по виду отличаться отъ этаго тона именно настолько, насколько отличается отъ истинно бѣлаго цвѣта тотъ, который принятъ по контрасту за бѣлый. Другими словами, истинно бѣлый цвѣтъ долженъ при этихъ условіяхъ принять окрашеніе цвѣта дополнительнаго къ тому, который считается бѣлымъ. Въ самомъ дѣлѣ, если за бѣлый цвѣтъ принятъ наприм. желтый, то

желтый = бѣлому, и слѣдовательно

желтый + синій = бѣлому, долженъ казаться = синему.

Это-то и замѣчается въ явленіяхъ цвѣтныхъ контрастовъ.

Къ нимъ относится вопервыхъ общеизвѣстное явленіе цвѣтныхъ тѣней. Если въ затемненную комнату, черезъ прорѣзъ въ ставнѣ, пустить дневной свѣтъ на листъ бѣлой бумаги, освѣщенный въ тоже время свѣчкой, и поставить на

листъ отвѣсно какой нибудь предметъ, напр. карандашъ, то на бумагѣ образуются двѣ тѣни. Тѣнь отъ дневнаго свѣта будетъ освѣщена свѣтомъ свѣчки и будетъ казаться темною; а другая, освѣщенная дневнымъ свѣтомъ, — голубою. Легко доказать, что окрашеніе это происходитъ здѣсь по контрасту съ цвѣтомъ бумаги, который въ сущности свѣтложелтый, а принимается за бѣлый *). Если въ самомъ дѣлѣ смотрѣть на тѣнь отъ свѣчки въ трубку изъ бумаги ранѣе, чѣмъ открыто отверстіе въ ставнѣ, притомъ такимъ образомъ, чтобы глазъ видѣлъ одну только тѣнь, безъ окружающаго ее фона, (для этого нужно разумѣется, чтобы тѣнь бросалась тѣломъ болѣе толстымъ чѣмъ карандашъ), то она не получаетъ голубаго оттѣнка и по открытіи щели въ ставнѣ; но стоитъ подвинуть трубку такъ, чтобы глазъ видѣлъ рядомъ съ тѣнью фонъ, и окрашеніе тотчасъ появляется. Замѣчательно, что если теперь трубку передвинуть опять на прежнее мѣсто, чтобы видна была одна только тѣнь, окрашенность ея не исчезаетъ; — она сохраняется тогда даже при условіи, если отверстіе въ ставнѣ закрыть. Этотъ рядъ фактовъ, доказывая субъективность окрашенія, вызываемаго контрастомъ, указываетъ вмѣстѣ съ тѣмъ, что когда сознаніе введено разъ въ обманъ и за тѣмъ причина послѣдняго удалена, но реальныя условія возбужденія органа остаются прежними (въ нашемъ случаѣ образъ тѣни на сѣтчаткѣ), обманъ продолжается **).

---

*) Еще рѣзче и разнообразнѣе выходятъ явленія, если въ ставнѣ сдѣланы два прорѣза и черезъ одинъ идетъ чистый (бѣлый) дневной свѣтъ, а черезъ другую—окрашенный посредствомъ цвѣтнаго стекла. Тѣнь отъ послѣдняго прорѣза, освѣщаемая бѣлымъ свѣтомъ, принимаетъ окрашеніе дополнительное къ цвѣту стекла; а другая — окрашеніе самаго стекла.

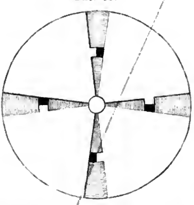
**) Продолженіе обмана и послѣ того, какъ закрыта щель въ ставнѣ, объясняется тѣмъ, что тогда мѣсто объективнаго бѣлаго свѣта, отражаемаго тѣнью свѣчки, заступаетъ субъективный (собственный) бѣлый свѣтъ сѣтчатки, который тоже подлежитъ закону контраста.

Измѣняя при этихъ опытахъ относительную силу обоихъ источниковъ свѣта (измѣняя съ одной стороны ширину щели, а съ другой удаляя и приближая къ бумагѣ свѣчку), легко бываетъ замѣтить, что контрастъ выходитъ тѣмъ рѣзче, чѣмъ ближе другъ къ другу по силѣ оба рода освѣщенія. Оно и понятно, если принять во вниманіе, что при перевѣсѣ дневнаго свѣта тѣнь отъ свѣчки становится слабѣе и слабѣе, а при противуположномъ условіи темнѣе и темнѣе.

Не менѣе поучительна форма опыта, придуманная Г. Мейеромъ. Берется листъ цвѣтной и кусочекъ бѣлой, или, что лучше, сѣрой бумаги; послѣдній кладется посрединѣ перваго, и все прикрывается листомъ бѣлой просвѣчивающей бумаги; — сѣрый кусокъ всегда принимаетъ при этомъ окрашеніе дополнительное къ цвѣту просвѣчивающаго фона (т. е. къ цвѣту окрашенной бумаги). Если же сѣрый кусокъ положить поверхъ полупрозрачной покрышки цвѣтнаго фона, то обманъ не происходитъ, или покрайней мѣрѣ онъ незамѣтенъ. Въ этомъ ряду явленій подлежатъ разъясненію: преимущество сѣраго индуцируемаго поля (такъ принято называть окрашивающееся субъективно поле, въ отличіе отъ окрашеннаго, которое назыв. индуцирующимъ) надъ чисто бѣлымъ; значеніе полупрозрачной покрышки и наконецъ условіе, почему при послѣдней формѣ опыта не происходитъ обмана. Первое объясняется тѣмъ, что сѣрое окрашеніе индуцируемаго поля менѣе рѣзко, и слѣдовательно менѣе опредѣленно, чѣмъ бѣлое; поэтому оно и легче можетъ извращаться въ сознаніи. Полупрозрачная покрышка благопріятствуетъ контрасту тѣмъ, что она размягчаетъ окрашенность цвѣтнаго поля, что, какъ мы видѣли изъ примѣра съ очками, облегчаетъ обманъ; и кромѣ того она скрадываетъ контуры индуцируемаго поля, рѣзкость которыхъ, какъ показываетъ 3-я форма опыта, дѣйствуетъ въ обратномъ смыслѣ. Вліяніе контуровъ индуцируемаго поля зрѣнія на обманъ еще рѣзче

высказывается въ слѣдующемъ опытѣ. Рис. 83 представляетъ кружокъ изъ бумаги, въ которомъ штрихованныя мѣста секторовъ покрываются какимъ нибудь цвѣтомъ; если его привести въ быстрое вращательное движеніе, то фонъ кружка окрашивается въ разжиженный цвѣтной тонъ секторовъ; сѣрое же кольцо, получающееся отъ мѣстъ послѣднихъ, окра-

Рис. 83.



шенныхъ въ черный цвѣтъ, принимаетъ по контрасту окрашеніе дополнительное къ цвѣту фона. Обманъ однако исчезаетъ, или покрайней мѣрѣ значительно ослабѣваетъ, если по окраинамъ сѣраго кольца провести два концентрическихъ круга, чтобы контуры его не сливались съ фономъ. На этомъ же кружкѣ легко убѣдиться, что при расширеніи цвѣтныхъ секторовъ, когда вслѣдствіе этого цвѣтъ фона становится гуще, окрашеніе сѣраго кольца слабѣетъ.

Вліяніе контуровъ на исчезаніе контраста объясняютъ тѣмъ, что рѣзкость ихъ, лишая сознаніе возможности разсматривать контрастирующія поверхности съ точки зрѣнія двухъ рядомъ лежащихъ цвѣтовъ, заставляетъ его разсматривать ихъ, какъ принадлежности двухъ различныхъ тѣлъ; черезъ это мотивы къ сравненію ослабѣваютъ, а побужденія къ отдѣльному разсматриванію усиливаются.

Я не стану входить въ дальнѣйшее описаніе частныхъ явленій контраста, потому что они не открываютъ никакихъ новыхъ условій явленія и всѣ объясняются съ развитой уже точки зрѣнія.—Остановлюсь только на случаяхъ, когда индуцируемое поле окрашивается въ цвѣтъ индуцирующаго, а не въ дополнительный къ оному. Условій для этого въ сущности два: насыщенная окрашенность индуцирующаго поля и продолжительная пристальная фиксація индуцируемаго. При первомъ условіи, въ явленіе замѣшивается по Гельмгольтцу, несовершенная прозрачность глазныхъ средъ и происходящее отсюда свѣторазсѣяніе, такъ что однородное окрашеніе обоихъ полей имѣетъ объективную причину. Во второмъ же случаѣ въ явленіи играетъ роль утомленіе сѣтчатки, и именно слѣдующимъ образомъ: при долгомъ разсматриваніи двухъ сосѣднихъ цвѣтовъ разница между ними ощущается рѣзко лишь въ первое время, а за тѣмъ, вслѣдствіе утомленія сѣтчатки, она постоянно ослабѣваетъ, такъ что можетъ сдѣлаться наконецъ неощутимою; при этомъ господствующій изъ цвѣтовъ, — а въ опытахъ съ контрастомъ это всегда цвѣтъ индуцирующаго поля,—сохраняетъ однако для сознанія свой цвѣтной характеръ; поэтому онъ распространяется и на индуцируемый участокъ, когда послѣдній пересталъ отличаться для сознанія отъ перваго.

Контрасты между ощущеніями обоихъ глазъ.

Контрасты могутъ существовать и между ощущеніями обоихъ глазъ.

Сюда принадлежитъ напр. давно извѣстный опытъ Смита, разъясненный Брюке. Сбоку одного изъ глазъ ставится сильный источникъ свѣта (напр. лампа) такимъ образомъ, чтобы свѣтъ не попадалъ въ зрачекъ; тогда бѣлые предметы, разсматриваемые этимъ глазомъ, кажутся зеленоватыми, а другому, — если освѣщенный глазъ закрыть, — красноватыми. Въ первомъ глазу контрастъ происходитъ оттого, что дно его освѣщается черезъ роговицу разсѣяннымъ краснымъ свѣтомъ, ко-

торый дѣйствуетъ индуцирующимъ образомъ на бѣлые лучи, получаемые черезъ зрачекъ отъ бѣлыхъ предметовъ. Во второмъ же глазу красноватый оттѣнокъ послѣднихъ есть явленіе контраста съ глаза на глазъ.

Еще проще слѣдующая форма опыта. Половина головы и соотвѣтствующій глазъ покрываются цвѣтнымъ, напр. зеленымъ, вуалемъ, и наблюдатель смотритъ этимъ глазомъ, держа другой закрытымъ, на бѣлые предметы до тѣхъ поръ, пока они не получатъ розоваго оттѣнка; тогда глазъ, покрытый вуалемъ закрывается, свободный открывается—и послѣднему бѣлые предметы кажутся зеленоватыми. Вмѣсто вуаля передъ глазомъ можно поставить не густо окрашенное цвѣтное стекло, а вмѣсто того, чтобы глаза закрывать и открывать попеременно, можно установить ихъ передъ бѣлымъ предметомъ такъ, чтобы онъ двоился, тогда полуобразы являются окрашенными въ дополнительные цвѣта другъ къ другу.

Послѣдній рядъ явленій доказываетъ очевиднымъ образомъ взаимное вліяніе свѣтовыхъ ощущеній изъ одного глаза на другой; и потому рядомъ съ этими фактами невольно является вопросъ: помогаютъ ли глаза другъ другу въ дѣлѣ воспріятія свѣта вообще, т. е. яснѣе ли мы видимъ предметы, когда смотримъ на нихъ обоими глазами, чѣмъ при смотрѣніи однимъ.

Фехнеръ, дѣлавшій по этому поводу прямые опыты, нашелъ во первыхъ, что при смотрѣніи обоими глазами свѣтовое ощущеніе нѣсколько усиливается противъ случая смотрѣнія однимъ глазомъ, но въ чрезвычайно слабой степени (объясненія этому нѣтъ); и во вторыхъ онъ замѣтилъ слѣдующее явленіе, кажущееся на первый взглядъ пародоксальнымъ (отъ того и самый опытъ получилъ названіе парадоксальнаго): если на бѣлый предметъ смотрѣть сначала однимъ глазомъ, закрывши другой; а потомъ поставить передъ пос-

лѣднимъ сѣрое стекло и открыть глазъ, то предметъ кажется при 2-мъ условіи темнѣе, чѣмъ при первомъ; а между тѣмъ сумма свѣта, поступающаго въ глаза, во 2-мъ случаѣ очевидно стала больше (въ этомъ и заключается парадоксальность). Дѣло объясняется однако тѣмъ, что при надвиганіи другъ на друга полей зрѣнія обоихъ глазъ, сѣрое окрашеніе предмета въ одномъ изъ нихъ уничтожено быть не можетъ, и потому оно ложится сѣрымъ налетомъ на бѣлый образъ другаго глаза.

ПРИБАВЛЕНІЕ.

Иннервація двигательнаго снаряда глазъ.

§ 68. Изъ анатомическаго введенія къ этому сочиненію читатель знаетъ, что мышцы глазъ должны быть раздѣлены на двѣ главныхъ группы: внутреннихъ и наружныхъ двигателей глазнаго яблока. Къ первой изъ нихъ принадлежитъ рѣсничная мышца, играющая главную роль въ движеніяхъ аккомодаціи, и мышцы райка; ко второй группѣ относятся: четыре прямыя и двѣ косыхъ мышцы глазнаго яблока. Въ пользу такого дѣленія, сверхъ различія въ топографическомъ положеніи, говоритъ еще и то обстоятельство, что наружные двигатели принадлежатъ къ отдѣлу рубчатыхъ мышцъ, а внутренніе — къ отдѣлу гладкихъ. При томъ въ ткани органовъ (сосудистой оболочки и райка), содержащихъ въ себѣ гладкія мышцы глаза, нѣкоторые изслѣдователи (напр. Генр. Мюллеръ, Швейггеръ-Зейдель, Михніовскій и Арнольдъ) принимаютъ существованіе нервныхъ узловъ, которыхъ въ наружныхъ мышцахъ не существуетъ. Всѣ эти данныя, взятыя вмѣстѣ, очевидно указываютъ на раздѣльность нервныхъ механизмовъ, управляющихъ движеніями обѣихъ мышечныхъ группъ, и принуждаютъ разсматривать устрой-

ство этихъ механизмовъ, равно какъ способъ ихъ дѣятельности, отдѣльно другъ отъ друга.

Но раздѣльность, если и не столько полная, существуетъ повидимому и для мышцъ, входящихъ въ составъ первой группы. Анатомически она выражена правда очень слабо — радіальныя мышцы райка можно считать продолженіемъ продольныхъ волоконъ рѣсничной мышцы, а круговыя—продолженіемъ кольцевыхъ; — но съ физіологической стороны раздѣльность эта существуетъ. Для этого достаточно будетъ указать на то обстоятельство, что по понятіямъ современной физіологической школы продольныя и кольцевыя волокна рѣсничной мышцы дѣйствуютъ (при аккомодаціи) всегда за одно и возбуждаются къ дѣятельности однѣми и тѣми же причинами; а между радіальными и круговыми мышцами райка существуетъ иногда со стороны возбужденія родъ антагонизма. Различія эти въ сущности можетъ быть только кажущіяся; но пока онѣ не разъяснены, иннервацію райка слѣдуетъ разсматривать отдѣльно отъ иннерваціи рѣсничной мышцы.

Рядомъ съ фактами, требующими раздѣльности нервныхъ механизмовъ для всѣхъ 3-хъ мышечныхъ группъ, существуютъ однако и такіе, которые указываютъ на тѣсную связь всѣхъ 3-хъ нервныхъ аппаратовъ между собою. Для этого достаточно будетъ напомнить читателю ту сумму сочетанныхъ движеній въ сферѣ зрительнаго снаряда, изъ которыхъ слагаются акты разсматриванія далекихъ и близкихъ предметовъ.

На этомъ основаніи, разсмотрѣвши иннервацію 3-хъ мышечныхъ группъ глазнаго яблока въ отдѣльности, мы должны въ заключеніе остановиться и на нервныхъ условіяхъ ихъ сочетанной дѣятельности.

Начнемъ съ иннерваціи райка. Иннервація райка.

Къ этому отдѣлу сосудистаго слоя глаза нервныя во-

локна идутъ, черезъ посредство носо-рѣсничной вѣтви и рѣсничныхъ нервовъ, въ тѣсномъ смыслѣ слова, изъ трехъ источниковъ: изъ тройничнаго нерва, общаго двигателя глазъ (n. oculomotorio) и симпатическаго соннаго сплетенія (ex plexu carotico). Такъ какъ рѣсничные нервы, по своей малости и глубокому положенію въ глазницѣ, трудно доступны физіологическому изслѣдованію, то опыты уже издавна были направлены исключительно на упомянутые нервные стволы, служащіе этимъ вѣтвямъ источникомъ.

Чувствующія волокна райка родятся вѣроятно изъ тройничнаго нерва. За это говоритъ чрезвычайно рѣзко выраженная болевая чувствительность этаго органа (высказывающаяся при операціяхъ искуственнаго зрачка), въ связи съ тѣмъ обстоятельствомъ, что изъ всѣхъ 3-хъ нервовъ, снабжающихъ раекъ волокнами, одинъ тройничный обладаетъ необычайною болевою чувствительностью,—симпатическій, идущій къ глазу, не имѣетъ ее вовсе, а въ общемъ двигателѣ, если она и существуетъ, то въ очень незначительной степени. Впрочемъ вопросъ этотъ могъ бы быть рѣшенъ прямой пробой (которой, сколько я знаю, никто не дѣлалъ) на чувствительность райка послѣ перерѣзки тройничнаго нерва въ полости черепа. Физіологическое значеніе чувствующихъ волоконъ райка совершенно неизвѣстно.

N. oculomotorius есть двигатель круговой мышцы райка.

Это вытекаетъ изъ того, что послѣ перерѣзки названнаго нерва зрачекъ расширяется, а при раздраженіи его периферическаго отрѣзка значительно съуживается. (Ту и другую операцію всего удобнѣе дѣлать на птицахъ, для чего имъ вскрывается черепъ и удаляются полушарія; но эффектъ раздраженія удается видѣть при той же операціи и на свѣже-убитыхъ животныхъ, какъ на птицахъ, такъ и на млекопитающихъ). Первый эффектъ показываетъ кромѣ того,

что волокна, съуживающія зрачекъ, находятся нормально въ тоническомъ возбужденіи.

Тонъ этотъ рефлекторнаго происхожденія и источникъ его заключается въ возбужденіи зрительнаго нерва свѣтомъ.

Положеніе это, изъ котораго вытекаютъ, какъ логическое послѣдствіе, общеизвѣстные факты расширенія и съуженія зрачка при переходѣ глаза отъ свѣта къ темнотѣ и обратно, доказывается прямыми опытами и наблюденіями. — Если животному перерѣзать внутри черепа зрительный нервъ (эта операція тоже требуетъ вскрытія черепа), то отъ послѣдующей за тѣмъ перерѣзки n. oculomot. расширенія зрачка не происходитъ. У людей съ полнымъ параличемъ одного изъ зрительныхъ нервовъ зрачекъ соотвѣтствующей стороны бываетъ обыкновенно шире, чѣмъ на здоровой. Что же касается до того, что рефлексъ отъ раздраженія зрительнаго нерва передается райку дѣйствительно черезъ посредство n. oculomot., то въ этомъ убѣждаютъ слѣдующіе опыты: пока n. oculomot. цѣлъ, свѣтъ, дѣйствуя на глазъ животнаго, всегда производитъ съуженіе зрачка, но послѣ перерѣзки его эффектъ этотъ абсолютно исчезаетъ. Такъ же дѣйствуетъ и механическое раздраженіе сѣтчатки, равно какъ возбужденіе центральнаго конца перерѣзаннаго зрительнаго нерва у животныхъ (Майо, Мажанди, Будге).

Мѣсто передачи возбужденія съ зрительнаго нерва на общаго двигателя, т. е. мѣстонахожденіе отражательнаго центра, опредѣлено Флураномъ (и находка его подтверждена опытами Мажанди и Лонже). Оно лежитъ въ передней части четверныхъ тѣлъ. Вырѣзываніе ея съ одной стороны уничтожаетъ чувствительность райка къ свѣту въ глазу противуположной стороны вполнѣ, а въ соотвѣтствующей лишь ослабляетъ эту чувствительность. При этомъ Флуранъ замѣтилъ, что одностороннее раздраженіе передней части четверныхъ

тѣлъ влечетъ за собою сокращеніе зрачковъ въ обоихъ глазахъ, и далъ этимъ анатомическую основу для объясненія факта, почему свѣтовое вліяніе на одинъ глазъ производитъ сокращеніе зрачковъ въ обоихъ. Явленіе это должно быть объяснено или перекрещиваніемъ волоконъ n. oculomotor., подобнымъ перекрещиванію зрительныхъ нервовъ (такое перекрещиваніе принимается напр. Келликеромъ), или существованіемъ спайки между его центрами, которая передавала бы возбужденіе съ одной стороны на другую *).

Вліяніе, совершенно противуположное только-что описанному, оказываетъ на раекъ шейная часть симпатической цѣпи.

Перерѣзка ея по всей длинѣ, начиная отъ 1-го груднаго до верхняго шейнаго узла, даетъ съуженіе зрачка; а раздраженіе верхнихъ отрѣзковъ наоборотъ значительное расширеніе его (раздраженіе цѣпи съ одной стороны расширяетъ зрачекъ только въ соотвѣтствующемъ глазу).

Эффекты эти, какъ доказалъ Будге, распространяются по цѣпи центробѣжно, въ направленіи отъ спиннаго мозга; слѣдовательно наши волокна принадлежатъ къ отдѣлу двигательныхъ. Названный изслѣдователь нашелъ именно, что

*) У амфибій и рыбъ (саламандра, лягушка, угорь, карпъ и пр.) раекъ представляетъ въ отношеніи возбуждаемости его свѣтомъ нѣкоторыя особенности. Реагируя чрезвычайно медленно на дѣйствіе этого дѣятеля при нормальныхъ условіяхъ, онъ сохраняетъ за то способность возбуждаться имъ по вырѣзыніи глаза изъ тѣла, т. е. послѣ разобщенія его со всякими внѣшними нервными вліяніями. Такъ, если у котораго нибудь изъ названныхъ животныхъ вырѣзать по удаленіи головнаго мозга оба глаза и держать одинъ въ темнотѣ, а другой на свѣту, то уже черезъ нѣсколько минутъ зрачекъ въ послѣднемъ оказывается уже, чѣмъ въ первомъ (Рейнгардтъ и Броунъ-Секаръ). Вліяніе свѣта на раекъ здѣсь повидимому непосредственное, и возможно, что оно имѣетъ связь съ присутствіемъ нервныхъ узловъ въ его ткани. Во всякомъ случаѣ фактъ этотъ чрезвычайно замѣчателенъ и требуетъ разработки не только въ приложеніи къ названнымъ, но и къ теплокровнымъ животнымъ.

раздраженіе или разрушеніе части спиннаго мозга, лежащей между 6-мъ шейнымъ и 4-мъ груднымъ позвонкомъ, производитъ расширеніе или съуженіе зрачковъ, пока шейная часть симпатической цѣпи не перерѣзана. Отсюда, какъ изъ центра (послѣдній получилъ спеціальное названіе „centrum cilio-spinale"), наши волокна идутъ по переднимъ корешкамъ 1-го и 2-го груднаго нерва (доказано прямыми опытами) и переходятъ за тѣмъ въ симпатическую цѣпь. Путь этотъ, по опытамъ того же Будге, можетъ возбуждаться и рефлекторно — изъ заднихъ корешковъ верхнихъ грудныхъ нервовъ.

Описанное вліяніе симпатической цѣпи на раекъ можно объяснять a priori двоякимъ образомъ: или принимая прямое двигательное вліяніе ея на радіальныя мышечныя волокна iridis, или придавая симпатическому нерву значеніе межцентральнаго привода механизма, парализующаго тоническое дѣйствіе (на раекъ) n. oculomotor. Изъ этихъ воззрѣній справедливымъ оказывается однако лишь первое, потому что при параличахъ n. oculomot. расширеніе зрачка никогда не достигаетъ такихъ значительныхъ размѣровъ, какъ при раздраженіи симпатической цѣпи; слѣдовательно при послѣднемъ условіи въ явленіе (расширенія зрачка) положительно замѣшивается моментъ активнаго сокращенія радіальныхъ мышцъ.

Такимъ образомъ оказывается, что раекъ имѣетъ для обѣихъ системъ своихъ мышечныхъ волоконъ два отдѣльныхъ нервныхъ механизма. Оба они представляютъ простыхъ двигателей и оба находятся въ тоническомъ возбужденіи, слѣдовательно постоянно нейтрализируютъ другъ друга. Источниками тона въ сферѣ oculomot. служитъ свѣтовое раздраженіе сѣтчатки (происхожденіе же его въ симпатическомъ аппаратѣ неизвѣстно) и въ этомъ смыслѣ нервно-мышечный аппаратъ глаза, съуживающій зрачекъ, имѣетъ прямое зна-

ченіе механизма, регулирующаго силу освѣщенія глазнаго дна и устраняющаго эффекты сферической аберраціи. Симпатическій же аппаратъ по всей вѣроятности помогаетъ этой функціи лишь своимъ тономъ, расширяя зрачекъ, при ослабленіи свѣтоваго раздраженія, за предѣлы, соотвѣтствующіе ослабленію возбужденія n. oculomotor. Трудно допустить въ самомъ дѣлѣ, чтобы ослабленіе свѣтоваго раздраженія сѣтчатки — моментъ чисто отрицательный — могъ служить источникомъ развитія новыхъ силъ въ сферѣ симпатическаго нерва.

Третій источникъ двигательнаго вліянія на раекъ, заключается въ волокнахъ тройничнаго нерва. Перерѣзка послѣдняго въ полости черепа въ мѣстѣ Гассерова узла, или кпереди отъ него, всегда влечетъ за собою значительное съуженіе соотвѣтствующаго зрачка. Оно держится однако сравнительно незначительное время, и тѣмъ отличается отъ эффекта перерѣзки симпатическаго нерва; а съ другой стороны съуженіе зрачка длится слишкомъ долго, чтобы приписать его какому нибудь косвенному (напр. рефлекторному) возбужденію n. oculomot. Сущность явленія остается до сихъ поръ неразгаданной.

Въ заключеніе важно замѣтить отношеніе райка къ волѣ. Прямо она на него дѣйствовать не можетъ, но косвенно дѣйствуетъ въ слѣдующихъ случаяхъ. Когда человѣкъ производитъ очень сильное произвольное вдыханіе, или тетанически сокращаетъ выдыхательныя мышцы при закрытой дыхательной щели, или наконецъ просто сокращаетъ тетанически мышцы рукъ, безъ измѣненія дыхательныхъ движеній, во всѣхъ этихъ случаяхъ происходитъ по наблюденіямъ Вигуру расширеніе зрачковъ. Объясняютъ это тѣмъ, что спинномозговые центры дыхательныхъ и ручныхъ нервовъ лежатъ рядомъ съ спинно-рѣсничнымъ центромъ, и что поэтому произвольно-двигательное возбужденіе имѣетъ возможность иррадіиро-

вать съ первыхъ на послѣдній. Далѣе извѣстно, что если глазъ произвольно поварачивать кнутри и кнаружи, то при этомъ замѣчается сокращеніе и расширеніе зрачка (Іог. Мюллеръ). О смыслѣ послѣдняго явленія рѣчь будетъ впереди.

Послѣ опытовъ Фелькерса и Гензена, о которыхъ была рѣчь при описаніи механизма аккомодаціи, не можетъ подлежать болѣе сомнѣнію, что главный дѣятель въ этихъ актахъ есть рѣсничная мышца Брюке; слѣдовательно вопросъ объ иннерваціи послѣдней тождественъ съ вопросомъ о нервныхъ процессахъ при актахъ приспособленія. Иннервація рѣсничной мышцы.

Для рѣшенія его мы не имѣемъ къ сожалѣнію почти никакихъ опытныхъ данныхъ, такъ какъ способъ наблюдать дѣятельное состояніе рѣсничной мышцы едва открытъ и дѣятельность ея наблюдалась лишь при одномъ условіи, именно въ связи съ раздраженіемъ рѣсничныхъ нервовъ. Оттого и происходитъ, что сущность импульсовъ, вызывающихъ аккомадативныя движенія, ускользаетъ до сихъ поръ отъ опредѣленія. У взрослаго человѣка, по воззрѣніямъ современной школы, послѣднія имѣютъ всѣ характеры произвольныхъ движеній, заученныхъ подъ вліяніемъ потребности яснаго видѣнія предметовъ. Положеніе это дѣйствительно достаточно для объясненія результатовъ опытнаго видѣнія; но оно совершенно недостаточно для разъясненія сущности органическихъ толчковъ къ аккомодативнымъ движеніямъ у новорожденнаго, потому что у послѣдняго потребности яснаго видѣнія, вытекающей только изъ опыта, быть разумѣется не можетъ. Мнѣ кажется, что трудность нашего вопроса значительно уменьшилась бы, если допустить въ сферѣ аккомодативнаго аппарата существованіе самостоятельныхъ періодическихъ движеній, подчиненныхъ лишь въ общемъ направленіи степени освѣщенія глазнаго дна. Тогда въ зрительной дѣятельности ребенка дѣйствительно существовали бы осязательныя причины къ различенію яснаго видѣнія отъ

неяснаго и къ возникновенію этимъ путемъ потребности въ первомъ — потребности, которая регулируетъ аккомодативныя движенія у взрослаго. Гипотеза эта заслуживаетъ тѣмъ болѣе вниманія, что, не стоя въ противорѣчіи съ дѣйствительными фактами зрительной дѣятельности, она можетъ служить исходной точкой новыхъ изслѣдованій и въ тоже время доступна до извѣстной степени опытной провѣркѣ.

Мѣсто приложенія двигательныхъ возбужденій къ аппарату аккомодаціи въ головномъ мозгу тоже неопредѣлено; но путь ихъ распространенія отсюда къ мышцѣ уже извѣстенъ. Въ новѣйшее время, въ лабораторіи Гельмгольтца (Траутфеттеръ) найдено на птицахъ, что при искуственномъ раздраженіи n. oculomotor. свѣтлый отблескъ отъ передней поверхности хрусталика сокращается, т. е. что при этомъ уменьшается радіусъ ея кривизны. Такъ какъ послѣднее явленіе составляетъ самую суть аккомодаціи, то явно, что произвольно-двигательные импульсы къ рѣсничной мышцѣ распространяются по волокнамъ n. oculomotorii.

Иннервація внѣшнихъ мышцъ глазнаго яблока.

Если уже аккомодативныя движенія глазъ причисляются къ произвольнымъ, то съ тѣмъ большимъ правомъ слѣдуетъ отнести въ эту же категорію движенія глазныхъ яблокъ, производимыя ихъ внѣшними мышцами. Всякій человѣкъ знаетъ въ самомъ дѣлѣ, что почти во всякую минуту жизни онъ можетъ повернуть глаза куда ему угодно (разумѣется въ предѣлахъ заученныхъ движеній), и всякій человѣкъ сознаетъ поэтому, что воля его въ дѣлѣ глазныхъ движеній полновластна. Съ другой стороны мы видѣли выше, что и эти движенія, по скольку они представляютъ сочетанную мышечную дѣятельность, являются у взрослаго человѣка заученными подъ вліяніемъ потребности яснаго видѣнія. Оттого и здѣсь повторяется таже исторія, отнотительно сущности импульсовъ къ сокращеніямъ внѣшнихъ глазныхъ мышцъ у новорожденнаго, съ которой мы встрѣтились, говоря объ аккомодатив-

ныхъ движеніяхъ.—Изъ явленій на взросломъ человѣкѣ опредѣлить природу этихъ импульсовъ нѣтъ возможности.—У ребенка нѣтъ ни заученныхъ движеній, въ сферѣ которыхъ могла бы проявляться дѣятельность его воли, ни потребности въ ясномъ видѣніи, которая пріобрѣтается только опытомъ; а между тѣмъ движенія глазъ у него существуютъ и причина, вызывающая ихъ, очевидно должна быть органическая. Она выясняется по моему убѣжденію изъ слѣдующаго общеизвѣстнаго факта: если ребенокъ лежитъ постоянно бокомъ къ свѣту, то у него развивается косоглазіе въ эту сторону. Это значитъ — свѣтъ, падающій на боковыя части сѣтчатокъ, постоянно вызываетъ такія перемѣщенія глазныхъ яблокъ, при которыхъ онъ падаетъ на желтыя пятна обѣихъ сѣтчатокъ. Явленіе это, имѣющее очевидно характеръ рефлекса, только и можетъ объяснить, какимъ образомъ, при доказанномъ выше отсутствіи анатомической связи между двигательными снарядами обоихъ глазъ, ребенокъ выучивается уже въ теченіи первыхъ недѣль поводить обоими глазами въ сторону свѣта, то вправо, то влѣво. Да и взрослый человѣкъ, какъ всякій знаетъ по себѣ, руководствуется при передвиженіи зрительныхъ осей положеніемъ боковыхъ образовъ въ общемъ полѣ зрѣнія; слѣдовательно и у него остаются намеки на прежнее.

Но у ребенка глаза, какъ извѣстно, никогда не остаются долго въ одномъ положеніи и постоянно блуждаютъ; стало быть и для внѣшнихъ двигателей глазнаго яблока нужно можетъ быть принять существованіе періодической дѣятельности, подобно тому, какъ мы приняли ее для нервнаго механизма аккомодаціи? Въ данномъ случаѣ такая гипотеза была бы излишней, потому что передвиженія глазныхъ яблокъ могутъ быть объяснены свойствомъ глазныхъ мышцъ уставать до чрезвычайности скоро— свойствомъ, вслѣдствіе котораго онѣ не выносятъ даже у взрослаго человѣка хотя бы

минутной остановки въ одномъ и томъ же сокращенномъ положеніи.

Двигательныя волокна внѣшнихъ мышцъ глазнаго яблока лежатъ, какъ извѣстно изъ описательной анатоміи, въ сферѣ n. oculomot., n. trochlear. et n. abducentis.

Иннервація сочетанной дѣятельности всѣхъ трехъ мышечныхъ группъ.

Случаи сочетанной дѣятельности всѣхъ трехъ мышечныхъ группъ представляютъ акты смотрѣнія вблизь и вдаль обоими глазами. При этомъ началомъ цѣльнаго акта, по самому смыслу вещей, должно служить сведеніе или разведеніе зрительныхъ осей; стало быть исходной точкой смотрѣнія могутъ быть только тѣ импульсы, которые вращаютъ яблоки въ глазницахъ. У ребенка они имѣютъ, какъ мы видѣли, характеръ возбужденій, дѣйствующихъ рефлекторно съ периферіи; поэтому актъ смотрѣнія, въ незаученной формѣ, становится по способу происхожденія въ разрядъ рефлексовъ. Какъ развивается вслѣдъ за тѣмъ второй моментъ смотрѣнія — движенія въ сферѣ рѣсничной мышцы — мы не знаемъ; но понятно, что, независимо отъ способа своего происхожденія, актъ этотъ, повторяясь постоянно вслѣдъ за 1-мъ моментомъ смотрѣнія, долженъ ассоціироваться съ послѣднимъ; слѣдовательно у взрослаго человѣка рѣсничная мышца вызывается къ дѣятельности на основаніи законовъ воспроизведенія ассоціацій (выше, говоря о движеніяхъ глазъ, мы указали на факты, доказывающіе отсутствіе анатомической связи между аппаратами, управляющими сведеніемъ и разведеніемъ зрительныхъ осей съ одной стороны, и механизмомъ аккомодативныхъ движеній съ другой). Что же касается до сокращеній и расширеній зрачка, сопутствующихъ актамъ смотрѣнія вблизь и вдаль, то явленія эти слѣдуетъ считать сочетанными органически съ актами сведенія и разведенія зрительныхъ осей, и именно путемъ анатомической связи между центральными частями волоконъ oculomotorii, вліяющихъ на раекъ и внутреннюю прямую мышцу глаза. Что движенія райка при ак-

тахъ смотрѣнія возбуждаются несамостоятельно, доказывается независимостью ихъ при этомъ (разумѣется до извѣстной степени) отъ единственнаго специфическаго возбудителя райка — свѣта: Э. Г. Веберъ нашелъ, что при смотрѣніи вблизь на черную поверхность зрачекъ бываетъ уже, чѣмъ при смотрѣніи вдаль на свѣтлую. — Въ пользу же того, что связь между сокращеніями зрачка и движеніями глазныхъ яблокъ органическая, говоритъ то обстоятельство, что послѣднія при актахъ смотрѣнія взрослаго человѣка имѣютъ характеръ произвольныхъ движеній, а мышцы райка нисколько не подчинены волѣ.

И такъ, при актахъ смотрѣнія взрослаго человѣка самостоятельно возбуждаются только движенія сведенія и разведенія зрительныхъ осей; сокращенія же прочихъ мышцъ являются какъ ассоціированныя движенія—дѣятельность рѣсничной мышцы по привычкѣ, а сокращенія зрачка на основаніи анатомической межцентральной связи.

§ 69. Со стороны иннерваціи явленія отдѣленія слезъ имѣютъ повидимому много общаго съ соотвѣтствующими явленіями въ сферѣ слюнныхъ железъ. Подобно послѣднимъ, они вызываются обыкновенно путемъ рефлекса со слизистой поверхности, которая омывается отдѣлимымъ — въ нашемъ случаѣ съ поверхности глазнаго яблока. Далѣе, по новѣйшему сообщенію изъ лабораторіи дю Буа-Реймона, искуственное раздраженіе периферическаго отрѣзка слезной вѣтви даетъ усиленное выдѣленіе слезъ (аналогія съ барабанной струной по отношенію къ отдѣленію слюны). Наконецъ, подобно слюнѣ, слезы могутъ выдѣляться подъ вліяніемъ психическихъ движеній. Иннервація слезныхъ железъ.

Совершенно особенный случай представляетъ отдѣленіе слезъ подъ вліяніемъ очень сильнаго свѣта. Такъ какъ послѣднее сопровождается обыкновенно чувствомъ щекотанія въ

носу и нерѣдко вызываетъ актъ чиханія, то въ основу явленія кладутъ межцентральную иррадіацію возбужденія съ зрительнаго нерва на тройничный и уже отсюда выводятъ отдѣленіе слезъ.

КОНЕЦЪ.

ИСТОЧНИКИ.

Такъ какъ руководство составлено почти исключительно по сочиненію Гельмгольтца «Handbuch der physiol. Optik 1867», которое содержитъ полнѣйшій обзоръ литературы предмета, то я считаю нужнымъ обозначить только тѣ источники, которые не могли по времени войти въ означенное сочиненіе, и которыми я пользовался.

TH. LEBER, anat. Unters. üb. d. Blutgef. d. menschl. Aug. Wien. 1865.

HEIBERG, zur Anat. d. Zon. Zinnii. Med. Ctrbl. 1865 № 42.

M. SCHULTZE, zur Anat. u. Physiol. d. Retina. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. II 1866.

M. SCHULTZE, üb. d. gelb. Fleck d. Ret. u. s. w. Bonn. 1866.

VÖLKERS u. HENSEN. Stud. üb. d. Accomod. Med. Ctrbl. 1866 № 46.

TRAUTVETTER, üb. d. Nerv. d. Accomod. Arch. f. Ophthalm. Bd XII 1866.

ОПЕЧАТКИ на страницѣ 21

	вмѣсто	читай
7-я строчка снизу	«рѣсничнаго тѣла»	«рѣсничнаго узла»
2-я — —	«рѣсничнаго тѣла»	«рѣсничнаго узла».